3 1761 07882432 3

G
P

Poppen, Harm
Die Sandbänke an der Küste der Deutschen Bucht der Nordsee.

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
University of Toronto

http://www.archive.org/details/diesandbnkeder00popp

G
P

1 IX B 3

DIE SANDBÄNKE AN DER KÜSTE DER DEUTSCHEN BUCHT DER NORDSEE.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

EINER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT JENA

VORGELEGT VON

HARM POPPEN

AUS IHERINGSFEHN, KREIS AURICH.

566819
24.7.53

GEDRUCKT IN DER KÖNIGLICHEN HOFBUCHDRUCKEREI VON E. S. MITTLER & SOHN
BERLIN SW 68, KOCHSTRASSE 68—71

= 1911

Genehmigt von der philosophischen Fakultät der Universität Jena auf Antrag des Herrn Professor Dr. L. Schultze.

Jena, den 29. Juli 1911.

Professor Dr. Haußner,
d. Zt. Dekan.

Sonderabdruck aus den »Annalen der Hydrographie usw.«, herausgegeben von der Deutschen Seewarte in Hamburg. 1912, Band 40, Hefte VI—VIII.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	1— 2
II. Definition	3
III. Beschreibung und Nomenklatur	3— 5
IV. Entstehung:	5—30
Woher stammt der Schlick?	6— 9
Woher stammt der Sand?	9—15
Die Wellen	15—19
Die Gezeitenströmungen	19—30
V. Wanderung:	31—56
In der Jademündung	32—34
In der Wesermündung	35—36
In der Emsmündung	36—39
In der Elbemündung	40—43
An der schleswig-holsteinischen Küste	43—56
VI. Die säkulare Senkung	57
VII. Schluß	57
Literaturverzeichnis	58

Drei Tafeln, enthaltend neun Seekarten von der Jade- und Wesermündung.

Mit dem Ausdruck: »Deutsche Bucht der Nordsee« bezeichnet man nach der Segelanweisung[1]) denjenigen Teil der Nordsee, welcher im Süden und Osten den Kontinent, im Westen den Meridian von Texel und im Norden den Breitengrad von Horns Riff als Grenze hat. Die äußeren Grenzen liegen also außerhalb des deutschen Gebietes. Ihre Küste ist dort, wo deutsche Landgebiete in die Fluten der Nordsee eintauchen; diese wird kartographisch durch eine Linie bezeichnet, die sich aus dem Mittel des Niedrigwassers zur Zeit der Springfluten ergibt. Sie erstreckt sich von der Insel Röm bis zur Ems in einer Länge von etwa 150 Sm.[2]) Im weiteren Sinne wird die Küste durch eine Linie gebildet, die alle Punkte des deutschen Festlandes verbindet, welche zu gleicher Zeit von den Nordseefluten bespült werden. Da diese Grenzlinie aber keine konstante Lage hat, sondern mit der Ebbe ab-, mit der Flut aufwärts wandert, so bildet eine Küste keine Linie, sondern eine Zone,[3]) deren untere Grenze von der Grenzlinie des niedrigsten Wasserstandes begrenzt wird, und deren obere noch etwas höher liegt, als das höchste Hochwasser reicht, da die Tätigkeit der Wellen über dieselbe hinaus sich erstreckt. Die Zone ist an Steilküsten außerordentlich schmal, an Flachküsten aber wie der deutschen Nordseeküste nimmt sie eine erhebliche Breite an, da sie auch die Außengroden und ausgedehnten Wattengebiete, jenes amphibische Gebilde zwischen Land und Meer, mit umfaßt.

Die an die Deutsche Bucht angrenzenden Küstengebiete zeigen eine sehr starke Küstenentwicklung. Die Mündungstrichter der Ems, Weser, Elbe und Eider sind ganz bedeutend; tief ins Land einschneidende Buchten: Dollart, Jade, die von Meldorf, Tönning und Husum mit den sie begrenzenden Halbinseln Dieksand, Wesselburener Koog und Eiderstedt erhöhen die Küstengliederung erheblich; die der Küste in einer Entfernung von 2 bis 15 Sm girlandenartig vorgelagerten zahlreichen ost- und nordfriesischen Inseln, von denen Borkum und Röm die Eckpfeiler bilden, vervollständigen das Bild der Zerrissenheit. Eine besondere Stellung nimmt unter ihnen das aus Buntsandstein bestehende Felseneiland Helgoland ein; denn es ist aus den Küsteninselreihen herausgerückt, so daß es seiner Entfernung nach, die von der Halbinsel Eiderstedt 48 km[4]), von Cuxhaven 60 km beträgt, eine ozeanische Insel zu sein scheint, dennoch aber eine reine Küsteninsel ist. In seinem tektonischen und geologischen Aufbau hat es zwar mit einigen der nordfriesischen Eilande genetische Berührungspunkte, unterscheidet sich jedoch gänzlich von den andern, vor allem von den ostfriesischen Inseln, die Schwemminseln sind. Es ist ein Zeuge der gewaltigen tektonischen Veränderungen und Schicksale, denen das Nordseegebiet in den Zeitläuften unterworfen war.

Die heutige Nordsee, die nach Browne[5]) eine überaus bewegte Vergangenheit hat, soll auf Grund der Forschungen dieses Geographen im Frühalluvium entstanden sein. Von einschneidendster Bedeutung für das Nordseegebiet war die Bildung des Englischen Kanals, die sich nach Walther[6]) in der Zeit vom 4. bis 6. Jahrtausend v. Chr., nach Browne an der Schwelle der historischen Zeit vollzogen hat. —

---

[1]) Segelhandbuch der Nordsee, herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt, Berlin 1906, Teil I, Heft 3, S. 31.
[2]) Ebenda S. 79.
[3]) Vgl. Grosse, Die Entwickelung des Küstenbegriffs, Diss. Leipzig 1904.
[4]) R. Haage, Die Deutsche Nordseeküste, Diss. Leipzig 1899, S. 10.
[5]) A. J. Jukes Browne, Contemporary Review, 1893. (Vgl. »Globus« 1894, Bd. 65, S. 198 u. 199.)
[6]) P. Walther, Land und See. Vlg. Gebauer-Sch. Halle 1907.

Die Nordsee hatte schon von alters her, wie uns die alten Historiographen: Pytheas[1]) aus Massilia (4. J.), Ephoros[2]) (um 350 v. Chr.), Aristoteles[3]) (Lehrer Alexanders d. Gr., geb. 384), Kleitarchos[4]) (derselben Zeit angehörig), Hekataios[5]) (zu derselben Zeit), Philemon[5]) (ein zur selben Zeit lebender Dichter), Plinius[6]) († 79 n. Chr.), Tacitus[7]) († vor 120 n. Chr.), Caesar[8]) († 44) u. a. berichten, einen höchst unruhigen und unberechenbaren Charakter, der ihr die heute im Volksmunde übliche Bezeichnung »Mordsee« eingetragen hat: wir hören von den Verheerungen, die sie anrichtete, von der Zerklüftung der Küstengelände, die in dem Worte »aestuarium«, einer alten Prägung, ihren Ausdruck findet, von dem hartnäckigen Kampf, den der Anwohner mit ihr führte, — alles Züge, die uns ganz und gar neuzeitlich anmuten.

Es kann nun zwar nicht unsere Aufgabe sein, alles Material der späteren Geographen und Historiker auch nur summarisch an dieser Stelle niederzulegen, indes glauben wir einen Punkt nicht übergehen zu dürfen: den erfreulichen Ausbau der Kartographie,[9]) die sich auch auf das Nordseegebiet erstreckte, wohin die aufflutende Kultur, der aufblühende Handel mehr und mehr ihre Wellen schlugen. Während im Mittelalter der mönchische, im 14. und 15. Jahrhundert der italienische und im 16. Jahrhundert der portugiesische und spanische Einfluß der Kartographie den Stempel aufdrückte, übernahmen erst von der Mitte des 16. Jahrhunderts ab die Niederdeutschen die Leitung, besonders die Holländer. Geradezu epochemachend waren die in fünf Sprachen erschienenen Werke des Holländers Lucas Janß Waghenaer aus Enkhuizen: »Spiegel der Zeevart 1584 bis 1615« und »Tresor der Zee-Vaert 1592 bis 1609«, so daß alle Werke des 17. Jahrhunderts unmittelbar auf seinen Schultern standen und ein Seeatlas lange Zeit kurz die Bezeichnung »Waghenaer« führte. Von den deutschen Küstenstädten der Nordsee brachten besonders Hamburg und Bremen wegen ihres ausgedehnten Handels den seemännischen Wissenschaften ein großes Interesse entgegen. Technisch gebildetem Personal, dem in Bremen ein Barsemeister vorstand, war die sorgfältige Bearbeitung dieser Materie in die Hände gelegt. Die Seewarte wurde ins Leben gerufen. Die Kapitäne der Kriegs- und Handelsmarine unterbreiten der Behörde ihre Beobachtungen. Alle diese Ergebnisse finden ihren Niederschlag in den von der Reichsmarine herausgegebenen Segelhandbüchern und Seekarten. Die Kartographie erfreut sich erst besonderen Aufschwungs und absoluter Zuverlässigkeit, seitdem die deutsche Admiralität sich ihrer angenommen hat.

Die Karten sind von den Anfängen an fast ohne Ausnahme in Schwarzdruck gehalten. Die Sandbänke sucht man durch Tiefenlinien, Isobathen, in Höhenabständen von etlichen Metern von der Umgebung abzuheben. Auf den neuesten Karten zeichnet man die Watten in den der Wirklichkeit entlehnten grauen Tönen, während man von da ab von Isobathe zu Isobathe in immer heller werdenden Schattierungen zur weiß gehaltenen See übergeht. Außerdem sind überall die Tiefen in Metern angegeben. Die Seekarten sind jedoch nur Augenblicksbilder; denn da der Bodenbelag einer ständigen Umlagerung unterworfen ist, so ist das natürliche Bild nicht selten schon ein anderes, ehe die gefundenen Meßwerte auf die Karte übertragen worden sind, eine Erscheinung, der die Seekarten mit einer Bemerkung Rechnung tragen, die dem Seemann wegen der dauernd und oft in beträchtlichem Maße sich zeigenden Veränderungen größte Vorsicht anempfiehlt. —

---

[1]) Seine Tagebücher sind verloren gegangen; Fragmente sind uns erhalten in Plinius II und bei Strabo (68 v. bis 24 n. Chr.) in seinen 17 Büchern »*Γεωγραφικά*«.

[2]) Strabo VII, 2. Ephoros. F. H. G.

[3]) Ethica ad Eudem. III, 6.

[4]) Strabo VII, 2.

[5]) Plinius IV.

[6]) Historia naturalis.

[7]) Annales.

[8]) Bellum Gallicum.

[9]) Vgl. Behrmann, »Niederdeutsche Seebücher usw.« im Jahrbuch für die Geschichte des Großherzogtums Oldenburg, 1909.

Definition.

Die Durchmusterung der Fachliteratur zeigt nun, daß die dort auf die Sandbänke Bezug habenden Fachausdrücke auf unsere Verhältnisse keine Anwendung finden können, da den Verfassern durchweg Großformen vorschwebten, während wir es an unserer Küste mit Kleinformen zu tun haben. So lesen wir bei Supan[1]), daß die Kuppen bis zu —200 m, die Bänke von —200 bis —11 m sich erheben; Erhebungen, die höchstens —11 m Tiefe haben und deshalb der Schiffahrt gefährlich sind, nenne man Riffe oder Gründe. Wagner[2]) bezeichnet »die sich dem Meeresspiegel nähernden Einzelerhebungen als Kuppen und Bänke und, wenn sie der Schiffahrt gefährlich werden können (d. h. sich bis —11 m erheben), spricht man von Riffen, Gründen«. Supan[3]) ergänzt bei dem Kapitel der Sedimentablagerungen obige Definition dahin, daß »manche Sandbänke oder Barren dauernd über den Meeresspiegel emporsteigen, manche nur zur Ebbezeit, manche — und diese sind die gefährlichsten — verbergen sich stets unter dem Meeresspiegel«. Andere klassifizieren die Bänke wieder dahin, daß sie die nur bei Hochwasser mit Wasser bedeckten Erhebungen Sandbänke nennen, während sie die, die ständig von seichtem Wasser überflutet sind, mit dem Namen Untiefen belegen, Begriffe, die sich nicht mit der seemännisch angewandten Terminologie decken, wie die Seekarten[4]) und Segelhandbücher[5]) dartun. Diese bezeichnen die ans Festland und an die Inseln sich direkt anschließenden und bei normalen Flutverhältnissen nur bei Hochwasser bedeckten Schwemmlandgebilde, auf denen der Schlick haften bleibt, der ihnen eine schmutzig-graue Färbung gibt, als Watten, während die meist isoliert auftretenden und oft blendend weiß zu uns herüberschimmernden Sandanhäufungen die Namen Riff, Plate, Grund, Sand, Untiefe, Bank führen, Benennungen, die begrifflich gleichwertig sind, gleichviel, ob sie ständig oder nur bei Hochwasser mit Wasser bedeckt sind. Erreichen sie Watthöhe, was jedoch bei den isolierten Bänken äußerst selten der Fall zu sein pflegt, so spricht man sie gewöhnlich als Watten an, womit man jedoch den Begriff eines größeren Umfangs verbindet. Die Anwendung des Ausdrucks »Riff« zeigt, daß nicht immer das, was unsere Seeleute Riffgrund nennen, felsiger Boden ist, sondern öfter meinen sie damit nur einen sehr festen Ton, der am Handlot, mit dem sie sich durch Nacht und Nebel tasten, nicht recht haftet, wie beispielsweise der Borkumriffgrund vor der Emsmündung[6]). Jedoch trifft auch dies nicht immer zu. — Halten wir für unsere Untersuchung fest, daß wir unter der Bezeichnung Sandbank eine Meeresbodenerhebung aus Sand verstehen, die, gleichviel, welchen Namen ihr die seemännische Terminologie beilegt, mehr oder weniger bis an die Oberfläche des Meeres emporsteigt. —

Beschreibung und Nomenklatur.

In bezug auf ihre Lage kann man See- und Flußsandbänke[7]) unterscheiden, von denen wir erstere vor und in dem äußersten Teil der Mündungstrichter und vor der Küste antreffen, letztere weiter flußaufwärts. Die Bänke in den Flußmündungen haben vielfach eine isolierte Lage zwischen den Fahrwassern; doch findet man sie auch wohl den Wattgebieten angegliedert wie beispielsweise die Mellum Plate mit dem Roten Grund. Die Gestadebänke sind dem Lande vorgelagert und stehen fast immer mit ihm im Zusammenhang; als Typen dieser Gattung können die den Gestadeinseln angegliederten betrachtet werden. Bei den Flußsandbänken unterscheidet man auch wieder isolierte, die meistens mitten im Fahrwasser sich behaupten, und angegliederte Bänke, die gewöhnlich einem knieartigen Vorsprung des Ufers angeschlossen sind wie z. B.

[1]) A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 266.
[2]) H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 492.
[3]) A. Supan, Grundzüge der phys. Erdk., 1911, S. 271.
[4]) Admiralitätskarten.
[5]) Segelhandbuch der Nordsee, herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt.
[6]) O. Krümmel, Ozeanographie I, 1907, S. 165.
[7]) Für uns kommen nur die in Betracht, die sich im äußeren Teil des Unterlaufs befinden.

der Möwen Steert und die Hubert Plate in der Ems. Charakteristischerweise beobachten wir die Sandablagerungen und Verschlickungen vorwiegend am östlichen Ufer (siehe Ems, Weser und Elbe). — Manche Bänke behaupten nun eine durchaus konstante Lage wie der Geldsack und das Borkum Riff in der Ems und die Jade Plate in der Jade, andere sind in bezug auf ihren Standort stetem Wechsel unterworfen wie der Minsener Sand und der Rote Sand in der Jade; man nennt sie deshalb Wandersände, während wir jene als konstante Bänke bezeichnen können. Auch gewahrt man bisweilen plötzlich auftauchende Sände, denen jedoch gewöhnlich nur ein kurzes Dasein beschieden ist. Bilden die Bänke einen zusammenhängenden Komplex zwischen beiden Ufern, so redet man von Barren, einer Flutbarre in der oberen Flutzone und einer Ebbebarre im unteren Flußgebiet.

Fig. 1.

Anmerkung. Die vom Herrn Marine-Oberbaurat Krüger in Wilhelmshaven zur Verfügung gestellte Aufnahme obigen kleinen Strandwalles, der den Typ einer Sandbank gut wiedergibt, ist von der Spitze der Mellumbake aus nach Osten hin gemacht. Das Dunkle im Hintergrunde ist das Grünland von Mellum mit dem Sandstreifen an der Westseite; die Mellum Plate liegt 4 km weiter nördlich. Die letzte Flut hat den Strandwall nicht ganz bedeckt, was man an dem geschwärzten Randstreifen sieht, den man deshalb Flutmarke nennt. Diese besteht aus bloß- und angespülten Brocken von Torf, Darg, Holz, Klei usw., die sich in den Hauptbestandteilen deutlich abheben. Die Farbe des Walles ist mattgrau, ein Zeichen dafür, daß er auch Schlickmassen beherbergt.

Schon bei oberflächlicher Betrachtung der Seekarte gewahrt das Auge das fast allen Bänken eigene Charakteristikum einer länglichen Gestalt (vgl. Fig. 1), was besonders von den Flußsänden gilt. Die Böschungen ihrer Seiten sind vielfach steil; nach den Enden hin ist der Abfall ein allmählicher, nach der See zu in den meisten Fällen jedoch flacher als am andern Ende, wobei dieses dann auch die größte Höhe hat. Die hakenförmigen Gebilde ähneln sozusagen submarinen Nehrungen, bei deren Bildung man vielfach die Beobachtung machen kann, daß sie infolge Anhäufung von Sedimenten im Stromschatten eines Ufervorsprunges an eine im Fahrwasser bereits vorhandene Bank anwachsen und diese dadurch »wattfest« machen. Wesentlich unruhigere Formen haben die Bänke, die gleichsam als Vorposten im äußeren Mündungsmund der Flüsse weit vorgeschoben sind. Sie haben im Gegensatz zu jenen nicht selten seitliche Vorsprünge und auf ihren Rücken unregelmäßig auftretende Erhöhungen, ebenso seitliche Einschnürungen; ferner nehmen sie manchmal eine sichelförmige Gestalt an. Auch kommt es vor, daß zwei Bänke sich zu einem einheitlichen Komplex aneinandergliedern. Der rechtsseitige Abfall — auf die Richtung der Flußströmung bezogen — ist in den weitaus meisten Fällen steiler als der linksseitige. Eine

auffallend gesonderte Gestalt haben die den ostfriesischen Inseln vorgelagerten Gestadebänke, die sich zu deren Füßen girlandenartig hinwinden. Sie zeigen, als Einheit betrachtet, auffallende Ähnlichkeit mit einem ausgewellten Kuchenrand, wobei die hervortretenden Auswölbungen die Barren der Gaten sind. Völlig inkonstant in Lage und Form sind die Bänke vor den nordfriesischen Inseln. Die Längsachse der Bänke hat mehr oder weniger die Richtung der sie bestreichenden Strömungen, eine Beobachtung, die bezüglich der vor den Seegaten lagernden Bänke wegen der hier herrschenden komplizierten Strömungsverhältnisse seltener zutrifft.

Entstehung.

Bezüglich der **geologischen Untersuchung** der Sandbänke ist bis in unsere Tage hinein geradezu gar nichts unternommen worden. Erst in allerneuester Zeit hat die Kaiserliche Werft solche Untersuchungen für das Jadegebiet unter Leitung des Marine-Oberbaurats Krüger ausführen lassen, und zwar seit dem Jahre 1907.[1]) Die geologische Bearbeitung ist Rektor Schütte aus Oldenburg übertragen worden.

Auf Grund dieser Untersuchungen bestehen die Bänke zum weitaus größten Teil aus gröberem und feinerem Sand analog unseren Inseldünen, ferner aus Brockenmaterial und Schlick, jedoch in geringeren Quantitäten. Generelles läßt sich indes nicht aufstellen; denn die einzelnen Sandbänke sind wegen ihrer Lage in gar zu verschiedenem Maße den um- und aufbauenden Naturkräften ausgesetzt. Es ist deshalb ein Unterschied zu machen sowohl zwischen den Bänken, die starker Wellenbewegung unterworfen sind, und denen, die in ruhigerem Wasser liegen, also zwischen See- und Flußsandbänken, als auch den konstanten und wandernden Platen. Die konstanten Bänke zeigen meistens schon in relativ geringer Tiefe feste, altgelagerte Bodenschichten, so z. B. die Jade Plate und die Genius Bank in 12 bis 17 bzw. 9 bis 12 m unter Kartennull meist alten See- und Brackwasserton, darunter oft Süßwasserton, Schilf- und Waldtorf, also submarine Moore; daneben wird draußen bei etwa 18 m, drinnen in der Jade bei 12 bis 15 m Tiefe Diluvialton, Geschiebe usw. angetroffen. Über diesen Schichten ruhen leicht bewegliche Massen, die ständig der Umlagerung unterworfen sind.

Die wandernden Platen aber, wie die H-Plate, der Minsener Sand, der Rote Grund, der Rote Sand und andere bestehen bis zu der ganz beträchtlichen Tiefe von 19 bis 20 m naturgemäß aus gemengtem Material, in der Hauptsache aus Feinsand mit Muschel- und Torfgrus, aber auch aus Kies, Rollstücken von Torf und Holz, Muscheln, Schneckenschalen und dergleichen mehr.

Diese knappen Mitteilungen tun dar, daß die beweglichen Massen, auf die wir unser Hauptaugenmerk richten, bei beiden Arten von Bänken, bei den konstanten sowohl, als auch bei den Wanderbänken, mehr oder weniger aus denselben Substanzen zusammengesetzt sind, vornehmlich aus Sand neben Brocken verschiedenster Art. Das gilt jedoch nur von den Seesandbänken. Die Flußbänke, die im großen und ganzen außerhalb des Bereichs starker Wellenbewegung liegen, gleich den Watten und ruhigeren Meeresbuchten wie der Jade, beherbergen einen nicht unbeträchtlichen Prozentsatz von Schlick, wie schon aus einem Vergleich der zur Ebbezeit aus dem Wasser herauslugenden Rücken hervorgeht, die bei den Flußbänken eine mattgrauere Färbung zeigen, während die ausgewaschenen Sände der von den Sonnenstrahlen beschienenen und ausgetrockneten Seesandbänke schon aus weiter Ferne zu uns herüberleuchten. —

Wenden wir also den Hauptbestandteilen, dem Sand und dem Schlick, unser Augenmerk zu und suchen die Frage nach den Quellen des Materials zu erörtern.

[1]) Die Bearbeitungen der Jahre 1907/08 sind seiner Zeit den einzelnen Universitäten als Konvolut zugesandt worden: 1. Vorwort von Möller und Krüger, 2. Allgemeiner Bericht über die Bodenuntersuchung von Schütte, 3. die Diatomeen in den Küstenablagerungen von Chr. Brockmann, 4. die subfossilen Hölzer der Baggerproben von Herm. Brakenhoff.

Woher stammt also der Schlick? Durch mikroskopische und chemische Untersuchungen ist festgestellt worden, daß der Schlick zum Teil aus terrigenen oder kontinentalen, zum Teil aus organischen Bestandteilen besteht. Ferner ergaben sie, daß das Maximum des Schlickabsatzes, der zugleich den größten Prozentsatz an organischen Beimengestoffen aufweist, im Brackwassergebiet der Flüsse erreicht wird, während er nach der See zu langsam abnimmt, wovon jedoch die ruhigeren Meeresgebiete, die Watten hinter den Inseln und die Buchten, wo auch der Organismengehalt wieder etwas stärker auftritt, eine Ausnahme machen. Es ergibt sich daraus also, daß der Niederschlag der anorganischen und organischen Bestandteile in der Hauptsache an die Vereinigung von Salz- und Süßwasser gebunden ist. Wie mag sich dieser Vorgang abspielen?

Für die Anschwemmung der anorganischen Senkstoffe kommt zunächst das Flußwasser in Frage. Es schwemmt, wie Untersuchungen beweisen, eine Menge von Stoffen aus den Diluvial- und Alluvialschichten des Norddeutschen Flachlandes und der Mittelgebirgszone stromabwärts. Das ist Geröll in den verschiedenen Größen und Schlamm, also sandig-lehmiger Natur. Auf Grund zahlreicher Analysen sind im Mittel in den meisten Flüssen in 1 cbm Wasser 180 bis 200 g chemisch gelöste Substanzen, unter denen wir besonders die Humussäure hervorheben wollen, und an Schlamm in den Flüssen Mitteleuropas in der Tiefebene bis 100 g enthalten; außerdem werden Sand und Kies mitgeführt, weniger gröberes Geröll.[1])

Umstritten ist die Frage, ob auch die Nordsee erhebliche Mengen zu dem Schlick beiträgt und woher sie stammen. Prestel[2]) geht zwar entschieden zu weit, wenn er behauptet, daß das Material der deutschen Marschen von den schottischen und englischen Felsenküsten, die unaufhörlich von der Brandungswelle benagt werden, stamme; allein diese Behauptung ist nicht zu widerlegen mit dem an und für sich sehr richtigen Hinweis darauf (vgl. Haage[3]) und Fr. Wahnschaffe,[4])) daß die Trübung des Wassers der Nordsee erst im Wattenmeere beginnt, während draußen auf der See die Meeresfluten die schönste Klarheit aufweisen. (Haage.) Diese Beobachtung ist gewiß völlig einwandfrei; denn vermöge der merkwürdigen Eigenschaft des Meerwassers, die allen Elektrolyten innewohnt, werden die Beimengungen in kürzester Zeit ausgeschieden und auf dem Nordseegrunde niedergeschlagen. Hiernach müßte nun in jenen Meeresgebieten der Bodenbelag großenteils aus Schlamm bestehen, da an den dortigen Küsten durch Zertrümmerung des leichtlöslichen Kalk- und Kreidegesteins ein feiner, leicht transportabler Detritus unzweifelhaft aufbereitet wird. Da aber der Meeresboden dieser Gebiete durchaus schlammarm ist, wie die Seekarten ergeben, muß der Schlamm fortgeführt werden, und zwar durch die vorherrschenden Westwinde und die Flutströmung nach Osten in das Nordseebecken hinein. Nun ist aber durch die Untersuchungen des Korvettenkapitäns Holzhauer zweifelsfrei die Schlammarmut des Meeres nachgewiesen worden; denn von den 35 an verschiedenen Stellen der Nordsee gehobenen Grundproben setzten sich nur 5, die überdies dem exponierten Gebiet der Norwegischen Rinne entstammten, aus sandig-tonigen Bestandteilen zusammen.[5]) Die Schlammteile müssen also noch weiter verfrachtet werden, in der Streichrichtung der Flut- und Windströmung, d. h. an unsere Küsten, in die Buchten, auf die Watten, in die Mündungstrichter. — Der Flutstrom und die Wellen im Verein mit der typischen Nebenerscheinung des sogenannten Küstenstromes transportieren den Schlamm also teils auf dem Umwege durch den südwestlichen Teil der Nordsee, teils direkt an dem Küstengestade entlang nach Osten. Unterwegs werden noch manche andere leichtschwebende Stoffe von den belgischen

[1]) H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 322 u. 323.
[2]) Prestel, Boden und Klima von Ostfriesland, Emden 1870.
[3]) R. Haage, Die Deutsche Nordseeküste, Diss. Leipzig 1899, S. 48.
[4]) Fr. Wahnschaffe in Forschung zur deutschen Landes- und Volkskunde von A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 254.
[5]) Die Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S. M. Knbt. „Drache“ in der Nordsee in den Sommern 1881, 1882 u. 1884, Berlin 1886. S. 23. (Die Proben wurden von v. Gümbel untersucht.)

und holländischen Gestaden selbst, wie von dem submarinen, mit leichten Schlickmassen bedeckten Vorlande mit fortgerissen, worüber uns schon der Augenschein unterrichtet und Wasseranalysen belehren. Außerdem erzeugt das Meer selbst dadurch, daß das auf seinem Boden ruhende Geröll infolge der Gezeiten und Wellen, die bis hierher ihre lebendige Kraft in Arbeit umsetzen, in beständiger Bewegung sich befindet, Schabemehl, Schlamm. Daß die eindringende Flut eine reiche Menge Detritus mit sich führt, darüber geben zahlreiche Analysen Aufschluß. So führen nach Hagen[1]) 100 000 Teile Jadewasser bei Wilhelmshaven an festen Stoffen:

Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde	Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde
1 Stunde nach Eintritt der Flut	19	23	4 Stunden nach Eintritt der Flut	12	20
2 Stunden nach Eintritt der Flut	19	26	» «	11	16
3 » «	15	24	Bei Hochwasser	10	13

Wibel fand in 100000 Teilen Elbwasser, das er in der Unterelbe bei Hamburg bei Hochwasser am 3. Dezember 1875 schöpfte, durch Abfiltrieren 11 Teile feste Erdmassen. Seyfert hat, wie Schucht berichtet,[2]) im Weserwasser zur Flutzeit in 1 cbm Wasser folgenden Durchschnittsgehalt an suspendierten Teilen gefunden:

Ort	Während der wärmeren Jahreszeit	Während der kälteren Jahreszeit	Ort	Während der wärmeren Jahreszeit	Während der kälteren Jahreszeit
Bei Bremerhaven . . .	283.78 g	290.35 g	Bei Sandstedt	49.81 g	58.44 g
» Nordenham . . .	115.27 »	162.39 »	» Käseburg	50.27 »	64.30 «
» der Luneplate . .	98.68 »	148.02 »	» Rekum	17.38 «	15.32 «
» Eljewarden . . .	63.78 »	71.10 »			

Es dürfte somit zweifelsfrei feststehen, daß sowohl die Flußströmung als auch das Meer reiche Schlammassen in die Flußmündungen verfrachten. Man glaubt nun, wie vorhin erwähnt wurde, festgestellt zu haben, daß im allgemeinen im Brackwassergebiet das Maximum des Schlickniederschlages, der hier zugleich den höchsten Prozentsatz an organischen Bestandteilen aufweist, erzielt wird. Wie erklärt sich das?

Angenommen, die Flut beginnt einzusetzen. Sie ist, wie Solger[3]) treffend sagt, keine »schäumend heranrollende Woge, es ist ein langsames Ansteigen der Meeresfläche, unheimlich weniger durch die Macht, mit der das Wasser hineindringt, als durch die Unmerklichkeit, mit der es heranschleicht, bis wiederum nach sechs Stunden das Meer die Herrschaft über das Wattenbereich hat«. Sie dringt zunächst in die tiefer gelegenen Küstenöffnungen, die Flußmündungen und Gaten, ein, besetzt nach und nach die Sandbänke und die Watten und läuft die Flüsse hinauf. In dem äußeren Teil der Mündungen trifft sie mit der sedimentbeladenen Flußströmung zusammen; es entsteht eine Stauung, eine Ruhepause, während welcher ein Teil des Detritus beider Widerparten sich zunächst niederschlägt. Diesem Umstande verdankt die Ebbebarre in der Hauptsache ihre Entstehung. Der andere Teil wird von der vordringenden Flut weitertransportiert. Ein gleicher Stillstand entsteht in der Zone, wo der Lauf der Flutwelle sein Ende findet, in der Brackwasserzone, einem Gebiet, das sich nicht immer an derselben Stelle befindet, sondern naturgemäß infolge größerer oder geringerer Wasserführung des Flusses (durch Schneeschmelze, Eisstauungen, Trockenheit) wie der Flutwelle (bei Springfluten, Nipptiden) sich hin- und herschiebt.

[1]) Hagen, Wasserbau, 1878. 1. Bd., S. 237. Siehe S. 27.
[2]) F. Schucht, Beitrag zur Geologie der Wesermarschen, 1903, S. 13.
[3]) Fr. Solger, Die deutschen Seeküsten in ihrem Werden und Vergehen, 1907, S. 28.

Während des etwa halbstündigen Stillstandes, bei dem Süß- und Salzwasser sich mischen, spielen sich interessante, sehr wichtige Vorgänge ab, die für die Schlickbildung von grundlegender Bedeutung sind, teils mechanischer, teils chemischer Art. So schlagen sich einerseits die sowohl im Fluß- als auch im Flutwasser suspendierten anorganischen Bestandteile nieder, andererseits finden während oder, besser gesagt, infolge der Süß- und Salzwassermischung Neubildungen organischen Charakters statt. Es vollzieht sich nämlich mit der Mischung der beiden Wasserarten zu Brackwasser das Ausscheiden der kalkhaltigen Stoffe der für unser Auge nicht wahrnehmbaren Salz- und Süßwasserinfusorien.[1]) Die Mischung ist also von einem großen Sterbeprozeß begleitet. Die Lebensbedingungen für die im Süß- als auch im Salzwasser lebenden Infusorien und andere Lebewesen, Diatomeen, Globigerinen, Ostrakoden usw., sind beiden Arten nur in dem ihnen von der Natur zugewiesenen Element gegeben; sobald sie in das andere Element geraten, sterben sie und sinken zu Boden. Dieser Sterbeprozeß läßt sich chemisch so erklären: Die im Süßwasser in gelöstem Zustande enthaltene Humussäure geht eine Verbindung ein mit den Basen der Meeressalze, der Kalkerde und Talkerde; die Infusorien bilden deshalb die Niederschläge dieses chemischen Ausscheideprozesses und liefern so den Schlamm, das wichtigste Bindemittel für die Sandmassen und übrigen Stoffe, die Meer und Fluß in den Mündungen anhäufen. Die humussauren Salze bilden den Hauptfaktor für die Entstehung des Schlicks. Treffend bezeichnet man deshalb das Brackwassergebiet als das chemische Laboratorium für die Geologie der Marschen (Haage) und diese zum großen Teil aus jenen Niederschlägen bestehenden fruchtbaren Gebiete als große Friedhöfe. So beträgt nach Prestel[2]) der Prozentsatz der organischen Bestandteile im Schlick des Emder Hafens 3 %, während Ehrenberg ihn auf $^1/_{20}$ des Volumens berechnet. Alle diese Vorgänge bieten sich dem Auge durch eine intensiv schmutzig-graue Färbung des Wassers dar; die Wassermassen scheinen zu rasten, aber in ihnen spielen sich hochbedeutsame Vorgänge ab.

Wäre man in der Lage, dieselben mit dem Auge betrachten zu können, so würde man staunen über den Regen an terrigenen und organischen Sedimenten, die sich hier niederschlagen. Einen ungefähren Begriff von der Menge der Schwemmstoffe bietet ein von Beyer[3]) angestelltes Experiment: er hatte an der Ostseite von Sylt im Watt bei Keitum, eine Zigarrenkiste ohne Deckel so in den Schlick hineingestellt, daß sie zur Hälfte darüber hinausragte und bei normalem Wasserstand nur zur Zeit der höchsten Flut unter Wasser stand. Nach 20 Tagen hatte sich die Kiste schon bis zu einer Höhe von fast 3 cm mit reinem Schlick gefüllt, was also pro Tag $1^1/_2$ mm ausmacht. Das würde fürs Jahr bei normalem Verlauf rund über $^1/_2$ m ergeben. In der Brackwasserzone dürfte jedoch der Schlickabsatz noch bedeutend größer sein; denn einmal konnten nur die in den Oberpartien der höchsten, schon in relativ ruhigem Zustande befindlichen Flut suspendierten Stoffe in die Kiste hineingelangen, während doch der Schlickgehalt, wie die Hagensche Tabelle[4]) zeigt, bei jeder Stromphase mit der Tiefe zunimmt, und zum anderen ist die Schlickbildung infolge der geringeren Süßwasserzufuhr hier minimal, so daß es sich in nicht geringem Prozentsatz um angeschwemmte Schlickmassen handeln kann. Für unsere Flußmündungen dürfen wir annehmen, daß das Flutwasser ebenso viele Senkstoffe heranträgt als bei Sylt; wenn wir dann bedenken, daß dieses Quantum noch durch die Suspensionen des Flußwassers und die Neubildungen im Brackwassergebiet vermehrt wird, so würden, falls nicht die Ebbeströmung einen Teil hinausbeförderte und der Flutstrom, dessen Erosionskraft gerade durch die Einengung Steigerung erfährt, tiefe Fahrrinnen einnagte, unsere Flußmündungen verschlammen und gewaltige Deltas aufbauen. Ein Teil wird zwar auf den See-, Fluß- und Buchtenwatten, deren

[1]) Diese, sowie die nachfolgenden Erörterungen über den chemischen Ausscheideprozeß sind Haage, Die deutsche Nordseeküste, entnommen. Diss. Leipzig 1899. S. 47. 48.

[2]) Prestel, Boden und Klima von Ostfriesland, Emden 1870.

[3]) A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1901, S. 34.

[4]) Siehe S. 7 und 27.

Höhe jedoch nie die Hochwassergrenze übersteigt, angehägert, allein wo bleibt der weitaus größere Teil? Unsere Watten sind sozusagen gesättigt, weshalb Hübbe[1]) meint, daß die überschüssige Menge in See hinausgelange, wodurch der Schlickreichtum des Meeres stetige Zunahme erfahre, eine Behauptung, die jedoch in krassestem Widerspruch steht mit den Seekarten und den Bodenuntersuchungen des Korvettenkapitäns Holzhauer.[2]) Ein Rätsel muß es allerdings vorerst bleiben, wo der Überschuß untergebracht wird.

Halten wir also fest: Der Schlick entstammt drei Quellen:

1. Dem Flußwasser, das Detritus herabschwemmt,
2. dem Meere, das an seinen Küsten und in seinem Schoße Schleifmehl aufbereitet und heranfrachtet,
3. dem chemischen Laboratorium der Brackwasserzone.

Woher stammt nun der Sand? Diese Frage, die außerordentlich wichtige Punkte sowohl der Sandbänke und der Inseln als auch besonders der Flußmündungen berührt, ist auffälligerweise kaum in den Bereich der Untersuchungen gezogen worden, und wo sie gelegentlich gestreift worden ist, da trifft man nicht selten die widersprechendsten Ansichten. Die Frage sollte bei dem Geographen und Geologen nicht weniger als bei dem Strombau-Ingenieur das lebhafteste Interesse erwecken.

Der Augenschein lehrt, daß durch Abbröckelung unserer Gestadeinseln viel Material gewonnen ward und noch wird. Beyer[3]) sagt bezüglich der Insel Sylt, daß ihre Westküste selber die Quelle sei, woher das Material sowohl für die ihr parallel verlaufenden Sandriffe als für die auf ihren Strand geworfenen Sandmassen stamme. Das Meer als die Quelle desselben lehnt er ab, wenngleich es auch, wie er zugibt, durch Zerkleinerung und Zerreibung von größerem Material, Grand, Geröll, Gesteinen und Muscheln, eine gewisse Menge davon erzeuge. Er beruft sich dabei auf Sokolow,[4]) welcher schreibt: »Die verhältnismäßige Langsamkeit dieses Vorganges und die Beschränktheit der Fläche, auf welcher er sich abspielt, lassen vermuten, daß der vom Meere aufbereitete Sand einen unwesentlichen, sogar verschwindenden Teil der oft ungeheuren Massen ausmacht, welche von den Wellen an die Küste getragen werden.« Beyer beweist aber gerade mit diesem Zitat, daß für das Material höchstens nur zum Teil die Küste als Quelle in Frage kommt; denn wo wären sonst unsere Inseln, wenn sie seit so vielen Jahrhunderten, ja Jahrtausenden solche Massen abgegeben hätten, die Sokolow als oft ungeheure bezeichnet. Und dann muß man hier auch einwenden: woher stammt denn die Inselreihe bzw. die Dünenkette? Außerdem sei nach seiner Meinung die Transportkraft der Meeresströmung zu gering und die Entfernung derselben von der Küste zu groß, um aus entfernteren Gebieten Sand hierher zu transportieren. Nach Beyers Auffassung kommen für die Sandanhäufungen an der nordfriesischen Inselreihe auch die kleinen Küstenflüsse nicht in Betracht. — Für die Verschlammungen zwischen Ems und Elbe glaubt Prestel[5]) den Detritus von den englischen und schottischen Küsten verantwortlich machen zu müssen.

Kurz, diese kleine Auslese legt uns nahe, bei unserer Untersuchung bezüglich der Herkunft der Sandanspülungen an unserer deutschen Nordseeküste vornehmlich drei Punkte einer Prüfung zu unterwerfen:

α) das Meer, β) die Inselreihe, γ) die Flüsse.

Wenden wir uns zunächst α) der Nordsee zu und fragen uns: Beherbergt das Meer Sandmassen und woher stammen sie?

[1]) Zeitschrift für Bauwesen, X. Berlin, 1860.
[2]) Vgl. folgende Seite.
[3]) A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1901, S. 24.
[4]) Sokolow, Die Dünen, Berlin 1894, S. 35.
[5]) Prestel, Boden und Klima Ostfrieslands, Emden 1870.

Darüber geben uns in erster Linie die Seekarten und die Untersuchungen der Forschungsexpedition mit S. M. Kanonenboot »Drache« 1881, 1882 und 1884[1]) Aufschluß. Ein flüchtiger Blick auf die Seekarte genügt, um zu erkennen, daß unter dem Bodenbelag der Sand vorherrschend ist. Dasselbe Resultat ergaben auch die Untersuchungen Holzhauers. Die an 35 Stellen gehobenen Meeresgrundproben jener Expeditionen hatten das Ergebnis, daß bei 26 Proben quarzigsandige Bestandteile festgestellt wurden, welche locker gebunden, hellgräulich, weißlich oder rötlich gefärbt waren. (Haage, S. 23). Fünf der tiefen norwegischen Rinne entstammende Proben enthielten sandig-toniges Material, fest gebunden, in nassem Zustande bis zu einem gewissen Grade plastisch, dunkel- und schwärzlichgrau gefärbt, und nicht unbeträchtliche Mengen feinsten Sandes. Südlich von den Shetland-Inseln wurden fast nur zerbrochene Muschelschalen gefunden. Drei im Nordwesten und Westen von Helgoland aus 25, 35 und 37 m Tiefe geförderte Proben ergaben folgendes Resultat: lockerer Quarzsand und abgerollte, feine Quarzkörnchen bis zu 5 mm Durchmesser von blaßrötlicher bis gelblicher Färbung, untermengt mit zahlreichen Blättchen von Kali- und Magnesiaglimmer, Granaten, Hornblende-, Feldspat- und Orthoklasstückchen, Zirkon, Magneteisen und Glaukonit. (Haage S. 23.) Chemisch untersucht, verrieten sie einen beträchtlichen Gehalt an kohlensaurem Kalk, der von den kleinen, abgeriebenen Trümmern von Muschelschalen, besonders Foraminiferen, Ostrakoden, Radiolarien und in kleinen Mengen auch Diatomeen herstammt. Ungefähr unter dem Meridian von Ameland und dem Parallelkreise von Föhr findet sich feiner, lockerer, glimmerreicher Sand mit ziemlich starkem Gehalt an abschlemmbarem Ton; es kommen in demselben wohlabgerundete Sandkörnchen vor von 0.1 mm Dicke, ferner Hornblende, Granat, Orthoklas, Hypersthen und Plagioklas. Eine auf dem sechsten Längengrade gegenüber Sylt und eine andere gegenüber Ring-Kjöbing-Fjord gehobene Probe ergaben rötlichen, infolge seines Gehaltes an Magneteisenteilchen rostfarbenen, feinkörnigen Quarzsand, mit Glimmer untermischt, und ziemlich reichlich vorhandenen Schlamm mit nicht unbeträchtlicher Beimengung von Foraminiferen, Echiniden-Stacheln usw. (Haage.)[2])

Ferner bemerkt das Segelhandbuch,[3]) daß die südlich vom Parallel von Hanstholm bis zum Abstande von etwa 50 Sm von der jütischen Küste sich erstreckende Jütland Bank aus Sand von verschiedener Farbe und Feinheit besteht. Vorwiegend ist grober Sand, auch Kiesgrund mit kleineren Steinen; Schlammablagerungen kommen nicht vor. Die große Fischer Bank, etwa 100 bis 150 Sm westlich von der jütischen Küste ...., zeigt feinen Sand, an einzelnen Stellen mit Schlick untermischt; Muscheln und kleinere Steine kommen nicht vor. Der Grund der Doggerbank besteht größtenteils aus feinem, grauem Sande, teils mit Sprenkeln oder Muscheln durchsetzt; im Westen und Südwesten werden Kies und sogar Steine gefunden. Der Grund des Außenriffs von Horns Riff besteht überall aus grobem, hellem Sande, auf tieferen Stellen meist mit Kies vermengt. Südlich von dem inneren Teile des Riffs findet sich feiner, dunkler Sand, während der Grund südlich von dem äußeren Teile des Riffs und längs der ganzen Nordseite desselben sehr verschieden ist.[4])

Zusammenfassend können wir also sagen: alles in allem genommen, trägt der Boden der Nordsee einen sandigen Charakter. Die sandigen Bestandteile enthalten nicht unbedeutende Beimengungen von Urgebirgsmineralien, aus denen sich die Gebirge Norwegens und Schottlands zusammensetzen. Vulkanische Gesteinsfragmente fehlen, ein Beweis dafür, daß die Bildung der Nordsee in ihrer letzten Vollendung ohne irgendwelche wesentliche Einwirkung vulkanischer Kräfte sich vollzog. (Haage.)

Woher stammt aber dieser Bodenbelag? Ist er ein alter Bestand, oder

[1]) Die Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S. M. Kanonenboot „Drache" in der Nordsee 1881, 1882, 1884«, Berlin 1886.

[2]) R. Haage, Die deutsche Nordseeküste. Diss. Leipzig 1899. S. 22 ff.

[3]) Segelhandbuch der Nordsee, 1906, I, 3, S. 32.

[4]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 33, 63.

findet er noch neue Zufuhr und woher? Diese Fragen sollen uns im weiteren beschäftigen.

Sind nun, da die Nordsee im Frühalluvium, also bald nach dem Diluvium entstanden sein muß, die diesen beiden Zeitaltern charakteristischen Bodenarten nachweisbar? Bezüglich des Alluvialzeitalters sind wir geneigt, solches ohne weiteres anzunehmen.[1]) Ob dasselbe aber auch für die Diluvialzeit der Fall ist, bedarf des Nachweises. Nach Browne[2]) tritt uns nach Rückzug des Eises das Nordseegebiet als anglo-skandinavisches Festland mit derselben Flora und Fauna, die wir noch heute antreffen, entgegen. Darauf soll sich die Bildung der Nordsee durch Senkung vollzogen haben. Ist das der Fall, so muß die diluviale Bedeckung des Gebietes mit gesunken sein. Beweise dafür dürften die noch heute an den Gestaden angetroffenen Diluvialmassen sein. So ist unter den Dünen der Gestadeinseln und unter dem angrenzenden Festlande im Süden und Osten als Liegendes der Diluvialboden festgestellt worden. Wolff[3]) erwähnt, daß auf Sylt bei Buhne 8 eine mächtige, ohne Unterbrechung bis zum Ende des Roten Kliffs reichende und fast eine deutsche Meile lange Decke von Geschiebelehm sich befindet. Ferner ist nach ihm noch das alte diluviale Hügelland im ganzen mittleren Teil der Insel, wo es sich bis über 25 m erhebt, zu erkennen (S. 47). Unter der Marsch setze sich der Diluvialboden fort, oft nur $^1/_2$ m unter der Oberfläche (S. 48). Zwischen Westerland und Hörnum und vom Kampener Kliffende nordwärts bis List sei in geringer Tiefe unter dem Flugsand der gesunkene Diluvialboden und bilde weit in See hinaus den Untergrund. Der ganze Sylter Dünensand ist aus der Zerstörung eines diluvialen und tertiären Außenlandes hervorgegangen. Ebenso wurde unter Wangeroog, wie unter den holländischen Inseln[4]) Diluvialboden nachgewiesen. Auch der feste Tonboden des Borkum Riffs, von dem das Lot, mit dem der Seemann sich durch Nacht und Nebel tastet, auch nicht das geringste ans Tageslicht zu heben vermag, ist diluvialen Ursprungs. Ebenso ist im Mündungsgebiet der Jade[5]) schon in ganz geringer Tiefe als Liegendes die Diluvialschicht anzutreffen. Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß die Geest des nahen Festlandes im Süden und Osten der deutschen Bucht aus Diluvialboden (Lehm, Mergel, Kies und Sand) besteht, der hier offen zutage tritt.[6]) — Angesichts dieser unumstößlichen Feststellungen ist der Schluß durchaus berechtigt, daß auch das Gebiet der Nordsee mit den eiszeitlichen Massen bedeckt gewesen sein muß, die dann aber bei der allmählichen Senkung mit in die Tiefe gerückt sind, wo der Rest noch heute lagert, wie die Funde von Glimmer, Quarz usw. vermuten lassen.

Wir dürfen also mit Fug einen Teil des Bodenbelags der Nordsee als diluvialen Ursprungs ansprechen. —

Die Entwicklungsgeschichte der Nordsee (vgl. Browne) zeigt uns, daß nach deren Bildung die gebirgigen Ufer Englands und die Flachküsten im Süden und Osten viel weiter seewärts reichten, an unserer Küste etwa bis zur 20 m-Isobathe. Es liegt auf der Hand, daß die Zertrümmerungsmassen all dieser Landgebiete, soweit sie nicht durch Senkung in die Tiefe gerückt worden sind, was für die deutsche Nordseeküste größtenteils wohl anzunehmen ist, dem Nordseebecken zugeführt wurden. Ob die Gesteinsfragmente, von denen v. Gümbel sagt, daß sie den Verdacht vulkanischer Abkunft erregen, auf die gewaltigen Gebirgsmassen hindeuten, die sich im Eocän im Norden auftürmten und Vulkane[7])

[1]) Vgl. S. 13.
[2]) Siehe S. 1.
[3]) W. Wolff, Entstehung der Insel Sylt. 1909.
[4]) Forschung zur deutschen Landes- und Volkskunde von A. Kirchhoff, Bd. 6., 1892, S. 252, 254.
[5]) Untersuchungen in der Jade. Vgl. S. 4 und 5.
[6]) J. Martin, Über den Einfluß der Eiszeit auf die Entstehung der Bodenarten und des Reliefs unserer Heimat. Bremen 1898. — J. Martin, Diluvialstudien I und III. Osnabrück und Bremen 1893 bis 1896.
[7]) Vgl. „Globus“ 1894, Band 65, S. 198.

getragen haben sollen, einen Gebirgsblock, auf dem sich nach Haas[1]) im Pliocän Laterit bildete, will ich unerörtert lassen.

Dürfen wir nun auch annehmen, daß von Westen her, von den englischen und französischen Küsten durch den Kanal hindurch analog dem dort aufbereiteten Schlamm Sandmassen in die Nordsee hinein verfrachtet werden? Wird dort aber überhaupt Sand aufbereitet? Die Bestandteile der Küstengebirge am Kanal, die in der Hauptsache aus leichtlöslichem Kalkstein und Kreide bestehen, liefern zwar reichlich Schlamm, allein ob man aber auch mit der Aufbereitung der in der Kreide versprengt vorkommenden harten Feuersteinknollen zu Sand zu rechnen hat, darüber ist man geteilter Meinung. Denjenigen, die diese Quelle ablehnen, steht ein von Frisi ausgeführtes Experiment zur Seite.[2]) Er ließ grobe Flußkiesel teils unmittelbar durch Handarbeit schütteln und stoßen, teils aber brachte er sie in eine Trommel, welche lange Zeit hindurch mittels einer Mühle gedreht wurde. Der Erfolg war genau von der Art, wie er sich voraussehen ließ: die Steine verloren nämlich ihre scharfen Ecken und rundeten sich ab (genau dieselbe Vorrichtung wendet man auch an, um die kleinen Marmor- und Achatkugeln herzustellen). Das gelöste Material war aber keineswegs Sand, sondern ein sehr fein zerteilter Staub oder Schlamm, nämlich Staub, wenn die Steine trocken, und Schlamm, wenn sie benetzt waren. Bei den vielen Versuchen kam es nur ein einziges Mal vor, daß ein Stein zerbrach, welcher möglicherweise schon früher einen Riß hatte. Wollte man also die erwähnte Ansicht verfolgen, so müßte man annehmen, daß aus jedem Stück Geschiebe im allgemeinen nur ein einziges Sandkörnchen würde, was gewiß niemand behaupten wird«. (Hagen). Denn meines Erachtens sind gegenüber den Ergebnissen solcher Versuche schwerwiegende Bedenken berechtigt; kaum dürfte es gelingen, die Naturkräfte, am schwierigsten die hier in Betracht kommenden, in ihrer Stärke und Eigenart in naturgetreuer Weise zum Ausdruck zu bringen: Erinnern wir uns nur daran, daß die von Natur doch eckigen Steintrümmer von der Brandungswelle, die einen Felsblock im Gewicht von 1370 Tonnen 10 bis 15 m weit (s. S. 15) fortzubewegen vermag, mit unvergleichlich größerer Vehemenz an die zackigen Felswände gleich Projektilen geschleudert werden, als das in der Trommel mit ihren noch dazu glatten und symmetrisch zum Zentrum liegenden Wänden nachgeahmt werden kann. Wir glauben deshalb keinen Fehlschluß zu tun mit der Annahme, daß auch die Feuersteinknollen zum Sandquantum ihre Beisteuer liefern. Doch fällt diese Quelle gar nicht so sehr ins Gewicht; es sprudeln hier eben unvergleichlich reichere Quellen. So berichtet G. W. v. Zahn[3]) von großen, hauptsächlich von der Brandungswelle aufbereiteten Sandmassen an den Klippenküsten der Bretagne. Auch die Ströme sind hier in diesen Gebirgsgegenden infolge des stärkeren Gefälles und der Art der bestrichenen Gesteinsmassen sehr viel sandreicher als im norddeutschen Flachlande, wo sich die schwereren Geschiebe gleich nördlich von den deutschen Mittelgebirgen ablagern. Ferner dürfte es durchaus innerhalb der Grenzen der Möglichkeit liegen, daß auch der sturm- und gezeitenbewegte Atlantische Ozean Sände an diese Küste hinan- und in Anbetracht der sanften Neigung des Schelfs direkt in den Kanal hineinverfrachtet. Kurzum: mag nun der eine oder der andere Ort die Quelle für diese Sände sein, einerlei — soviel steht fest: an den französischen und englischen Küsten lagern reiche Sandmassen.[4])

Für uns tritt nun die Frage in den Vordergrund, ob diese Sandmassen auch durch den Kanal in die Nordsee hineintransportiert werden. Wenn der um die Nordwestspitze Spaniens eindringende Flutstrom den Detritus der felsigen Nordküste längs der Gascogne absetzt,[5]) also durch den südlichen tiefen Teil des Busens von Biscaya hindurchtransportiert, und wenn er die Abrasionsprodukte

[1]) H. Haas, Zeitschrift »Ausland« 1893, Nr. 11 u. 12.
[2]) Hagen, Wasserbau, I, 2, S. 168.
[3]) G. v. Zahn, Die zerstörende Arbeit des Meeres an Steilküsten, nach Beobachtungen in der Bretagne und Normandie i. d. J. 1907 u. 1908, Hamburg 1909. (Mittlg. d. Geogr. Gesellsch.)
[4]) Vgl. Hagen, Wasserbau, III, 1.
[5]) H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 337.

der Kalkküste von Calvados nach der Seine-Bucht, westlich von Honfleur führt,[1]) so ist die Verfrachtungsmöglichkeit bezüglich der französischen und englischen Küste in Anbetracht der Richtung und Kraft der an ihr hinstreichenden Flutströmung und Brandungswelle[2]) und der Seichtheit des Meeresgebiets eine weit günstigere. Die Wanderungsrichtung dürfte sich in der auffälligen Sortierung bezüglich der Größe des Kieses kund tun: trifft man nämlich bei Dieppe noch den gröberen Kies, so begegnet er uns bei Boulogne unter starker Beimengung von Feuersteinstückchen in kleineren Fazies, während unweit Calais den noch kleiner gewordenen Steinchen schon große Sandmassen beigemengt sind; Dünkirchen zeigt hingegen nur noch Sandablagerungen.[3]) Die von G. v. Zahn[4]) an den Küsten der Bretagne gemachten Spezialstudien bestätigen die Transportrichtung. Bei Hagen[3]) lesen wir, daß der Kies von Westen nach Osten wandert; Krümmel[5]) behauptet solches sogar von den Feuersteinknollen.

Kurz: Für die Speisung des Sandreservoirs der Nordsee kommen auch die französischen und englischen Kanalküsten in Betracht. —

Als ständigen Zeugen der so überaus wechselvollen Wandlungen des Gebietes lernen wir den Rhein kennen, dem vor der Bildung der Nordsee alle heute selbständigen Nordseeflüsse tributpflichtig waren. Im Pliocän mündete er irgendwo in der Höhe von Norfolk in einer see- und sumpfreichen Deltalandschaft. An der Ostküste Englands setzten er, sowie später die schrittweise aus seinem Tribut entlassenen Flüsse ihre ungeheuren Schottermassen in einer Mächtigkeit von vielen Metern ab,[6]) ein Prozeß, der sich noch heute unter unsern Augen nicht allein bezüglich des Rheins, sondern auch der seit der Bildung der Nordsee im Frühalluvium der Selbständigkeit sich erfreuenden anderen Flüsse vollzieht. — —

β) **Die Inselreihe.** Über ihre Entstehung liest man die sich widersprechendsten Ansichten: Einer[7]) spricht sie als marine Schöpfungen an, die durch Anschwemmung von Sandmassen an die Diluvialerhebungen des Festlandes gebildet wurden, ein anderer[8]) betrachtet sie als kontinentale Abgliederungsinseln. Es kann jedoch nicht unsere Aufgabe sein, dieser Frage, deren Erörterung einen sehr umfangreichen Apparat erfordert, der den Rahmen der vorliegenden Arbeit weit überschreiten würde, auf den Grund zu gehen.

Wahrscheinlich bildeten die Inseln in alten Zeiten eine zusammenhängende Dünenkette, nur durchflossen von den größeren Flüssen. Denn der ganzen Bodengestaltung bei den friesischen Inseln und im ausgedehnten Wattengebiet ist nach Krümmel erst durch die Gezeitenströmung der charakteristische Typ aufgedrückt worden.[9]) Die säkulare Senkung, von der die Dargschichten unter der Marsch und die submarinen Wälder und Moore Zeugnis ablegen, sowie der nach Browne an der Schwelle der historischen Zeit, nach Walther vor 6000 bis 8000 Jahren erfolgte Durchbruch des anglo-französischen Isthmus, ferner der stärkere Flutwechsel, der ja erst nach diesem Ereignis besonders in die Erscheinung tritt, machten ihre verheerenden Einwirkungen auf die Dünenkette geltend: von der Kanalbildung an datiert der Kampf um ihr Dasein — mit welchem Erfolg, ergibt der traurige Anblick der kümmerlichen Relikten jener ehemals nicht unbeträchtlichen Dünenkette. Bildete doch nach Hahn,[10]) Hagen[11]) und einer Reihe anderer Fachleute[12]) die 20 m-Isobathe die damalige Grenzlinie der Dünen-

[1]) A. Supan, Grundzüge d. phys. Erdkunde, 1911. S. 597.
[2]) Vgl. S. 15ff.
[3]) Vgl. Hagen, Wasserbau. III. 1. S. 213.
[4]) G. v. Zahn, Die zerstörende Arbeit usw.
[5]) Petermanns Mitteilungen, Jahrgang 1889. S. 132.
[6]) Siehe Browne, Contemporary Review, 1893. (Vgl. Globus, 1894. Band 65.)
[7]) Vgl. Forschung zur deutschen Landes- und Volkskunde von A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 254.
[8]) Vgl. R. Haage, Die deutsche Nordseeküste, 1899, S. 18ff.
[9]) Vgl. Petermanns Mitteilungen 1889, S. 129ff.
[10]) Hahn, Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten, 1879, S. 170.
[11]) Hagen, Wasserbau.
[12]) Vgl. Forschung zur deutschen Landes- und Volkerkunde von A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 250 ff.

kette. Das Abbruchsmaterial der einst vom Winde unter Assistenz des Meeres aufgebauten Dünenkette sank und sinkt wiederum in den Schlund des Meeres hinab, wodurch sich die Reihe der Nährquellen der Nordsee um eine neue vermehrt.

γ) Der Flüsse als Spender haben wir schon an verschiedenen Stellen gelegentlich gedacht. Der Gehalt an Suspensionen für die Flüsse der norddeutschen Tiefebene muß als ziemlich beträchtlich bezeichnet werden. Nach Wagner,[1]) der die Flüsse allerdings als ziemlich schlammarm bezeichnet, beträgt der Gehalt an Schlamm in 1 cbm Wasser 100 g, während der Prozentsatz an Sänden und Kiesen wahrscheinlich geringer sein dürfte, weil diese sich auf ihrer weiten Wanderung infolge Aneinanderreibens zu Schleifmehl aufbereiten; doch dürften sich die herabgeschwemmten Sandmassen je länger desto mehr an den Flußmündungen bemerkbar machen. — —

Als Quellen des Materials der Nordsee haben wir also kennen gelernt:

1. Diluvialmassen, 2. die Abrasionsprodukte ihrer Küsten einst und jetzt, 3. die der englisch-französischen Kanalküsten, 4. die Flußalluvionen.

Das Nordseebecken ist mithin ein Sandreservoir, das reichlich spendender Quellen sich erfreut.

Es drängt sich nun die Frage an uns heran, ob diese Quellen dauernd Material zu liefern imstande sind, oder ob die Möglichkeit des Versiegens vorliegt.

Da die Sandmassen des Meeres stets in Bewegung sich befinden, liegt die Annahme nahe, daß ein Teil derselben in Schleifmehl umgewandelt und in Anbetracht der Armut des Beckens an Schlamm von den Agentien des Meeres fortgetragen und an ruhigeren Stellen, Watten, Buchten usw., abgesetzt wird. Dieses Quantum ist also für die See in Abgang zu bringen, und wenn letztere nicht Ersatzquellen hätte, würde der Bodenbelag sich schließlich aufbrauchen, was für den Bau der Bänke eine arge Verlegenheit bedeuten müßte.

Bezüglich der Flüsse und des Laboratoriums dürfte die Gefahr des Versiegens gänzlich ausgeschlossen sein. Wie steht es aber in dieser Beziehung mit den Abrasionsmassen der Küsten? Die geologischen Karten lehren, daß die für diese Frage in Betracht kommenden Gebirgsdistrikte Englands und Frankreichs größtenteils aus weicherem Gestein, überwiegend aus Kalkstein, bestehen, so daß auch diese Quelle sich wohl kaum erschöpfen dürfte. — Wie steht es aber mit der Verfrachtungsfrage, wenn der Kanal sich um das Soundsovielfache verbreitert haben wird, welcher Fall ja schließlich eintreten muß? Einerseits wird der Strömung das Hindurchschieben größerer Wassermassen wegen der Breite des Tores zwar erleichtert, anderseits aber auch die Erosionskraft und damit Tragfähigkeit dadurch geschwächt, ein Plus und ein Minus, die sich im allgemeinen aufheben dürften und wohl kaum eine Änderung in dieser oder jener Hinsicht erwarten lassen.

Für die sandigen Flachküsten Hollands und Deutschlands liegt die Sache wesentlich anders. Zunächst bieten sie der Abrasion ein so dankbares Arbeitsfeld wie keine andere Küste. Aber was ihnen im Vergleich zu den Felsküsten von der Natur versagt ist, das sucht der Mensch auf künstlichem Wege durch Uferbefestigungen zu ersetzen. Denn klaren Auges erkennend, daß das nimmersatte Meer ein Stück nach dem andern hinabspülen wird in seinen gierigen Schlund, tritt er entschlossen dem entgegen. Mit welchen Aussichten, kann erst die Zukunft zeigen. Bis heute eröffnet der Kampf noch keine absolut günstige Perspektive. Zwar ist es gelungen, den »goldenen« Reifen der Deiche immer weiter vorwärts zu schieben, auch die Inseln an besonders gefährdeten Punkten ziemlich erfolgreich zu verteidigen; aber an andern nagt und nagt die Welle ungehindert weiter, so daß die Eingriffe des Menschen bezüglich der Verringerung der Abrasionsmasse noch nicht überall den erwünschten Erfolg haben dürften. Das lehren besonders die Sturmfluten. — Als ein besonders kräftiger

[1]) H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 323.

Umgestaltungsfaktor ist neben der Brandungswelle der Flutstrom, der vor allen Dingen durch seine rechtsseitige Kraftäußerung die Flußmündungen nach W herumzieht,[1]) eine Erscheinung, die, wenn es dem Menschen nicht gelingt, dem Einhalt zu tun, zunächst den Inseln, zu guter Letzt der Festlandszone mit zum Verhängnis gereichen wird. Der gefährlichste Feind würde aber dem Menschen erwachsen, wenn sich die Hypothese der Senkung bewahrheiten sollte, ein Umstand, der für ihn die Bedeutung einer absolut sichern schließlichen Niederlage haben, für das Meer aber eine schier unerschöpfliche Quelle neuen Materials erschließen würde.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß das Nordseematerial sich in absehbarer Zeit nicht erschöpfen wird, ja, daß sogar bei Eintreffen verschiedener Umstände, die in Ansatz zu bringen wir zur Zeit allerdings noch nicht berechtigt sind, betreffs des Sandmaterials der Nordsee eine außerordentlich günstige Perspektive sich eröffnet. — —

Findet nun das Sandmaterial der Nordsee beim Bau der Sandbänke Verwendung? Bezüglich der an den südlichen und östlichen Küstengestaden aufbereiteten, sowie von der Flußströmung herabgespülten Massen ist man berechtigt, dies ohne weiteres annehmen zu dürfen. Ob das aber auch hinsichtlich des im Schoße des Meeres befindlichen Materials der Fall ist? Es wird also zu untersuchen sein, ob den hierbei in Betracht kommenden Naturkräften die Fähigkeit, Sandmassen verfrachten zu können, innewohnt, ob sie an der Böschung unserer Küste dieselben hinauftransportieren, wie dieser Vorgang sich abspielt und in welchem Maße die Sandbänke davon berührt werden. Die Faktoren, auf die wir daraufhin unsere Untersuchung ausdehnen müssen, sind: die Wellen, die Flutströmung und die Meeresströmung.

Wir wollen dabei zunächst nur die Südküste ins Auge fassen, da Nordfriesland sich durch seine Lage von ersterer wesentlich unterscheidet.

Zum leichteren und sicheren Verständnis dürfte es geraten erscheinen, zweier Gesetze vorbemerkend zu gedenken:

1. die Zunahme der Erosionskraft und Transportfähigkeit steht im Verhältnis zu der von irgendeiner Seite erfolgten Beengung;

2. die Begegnung zweier sedimentbeladenen Ströme ruft eine Stauung und damit ein Niederschlagen der Suspensionen hervor — Gesetze, denen wir in nachfolgendem auf Schritt und Tritt begegnen.

Die Wellen.

Besonders charaktervoll ist die an die Gestade sich stoßende Welle, die Brandungswelle, von der Wagner[2]) sagt: »Wir kennen unter den zerstörenden Kräften der Erdoberfläche wenige, die so gewaltig sind wie die Brandung. So schaffte sie im Hafen von Wick (Schottland)[3]) einen Block mit seinen Fundamenten im Gesamtgewicht von 1370 Tonnen 10 bis 15 m weit fort und übt auf den Leuchtturm von Bell Rock einen Druck von 14 700 kg und auf den von Skerryvore einen solchen von 29 700 kg pro qm aus.[4]) In ihrer größten Kraftentfaltung ist sie eine feindliche Gewalt, gegen die trotz der heute so hochentwickelten Technik selbst die mit dem größten Scharfsinn und mit verschwenderischem Aufwand errichteten, menschlichen Bollwerke nicht absolute Sicherheit bieten. Schon in ihrer harmlosesten Gestalt übt sie einen höchst wirkungsvollen Effekt aus. Und nun vergegenwärtige man sich die von einem Nordweststurm mit der Windstärke 10 bis 12 aufgewühlte Nordsee!

Unsere Flachküste nun gibt der Brandungswelle eine charakteristische Gestalt. Das Verhältnis der Wellenlänge zur Wellenhöhe wird nach dem Strande zu immer kleiner; denn die Wellenlänge ist der einfachen Wassertiefe proportional. Da die Welle nämlich mit der Vorderseite durch das Ufer, im Rücken durch die nachsetzende neue Woge und ebenso seitlich eingeengt ist, sucht sie nach der einzig freien Richtung, nach oben, auszuweichen. Aber auch dieses

[1]) Vgl. S. 22 und 23.
[2]) H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 334.
[3]) A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 587.
[4]) Ebenda.

Ausweichen hat seine Grenzen; denn die Welle beginnt überzukippen, sobald die Wassertiefe kleiner wird als die Wellenhöhe, ein Vorgang, den man mit dem Namen Brandung[1]) bezeichnet. Diese Erscheinung wird noch durch den sogenannten »Soog«[2]) begünstigt. Während nämlich die oberen Wellenpartien noch landwärts eilen, entsteht in den tieferen Schichten am Boden durch den Überdruck, der durch Anhäufung von Wasser am Strande hervorgerufen wird, ein rückläufiger Strom, der naturgemäß die Instabilität der Welle begünstigt. Dies zurückfließende Wasser nennt man Soog.

Eine andere charakteristische Eigenschaft wird an unserer Flachküste dadurch den Wellen verliehen, daß die Wassermasse selbst die Geschwindigkeit der Wellen annimmt, ein Umstand, in dem zum nicht geringsten Teil die Nährquelle der Kraft liegt. Es ist nämlich ein Unterschied zu machen zwischen der Wellengeschwindigkeit und der der Wassermasse. Daß letztere bei ungestörter Entwicklung nur eine minimale ist, erkennt man an einem treibenden Gegenstand, der annähernd die Wassergeschwindigkeit angibt, während die Wellen, die beispielsweise im Atlantischen und Stillen Ozean nach Hagen 6 bis 7 deutsche Meilen in der Stunde durcheilen, unter ihm hinwegstreichen. Wären auf hoher See beide Geschwindigkeiten gleich, so würden unsere Meere meistenteils unbefahrbar sein, weil die Wellen die Schiffe zertrümmern würden, was mit den gestrandeten tatsächlich geschieht. Infolge der gleichen Geschwindigkeit beider Bewegungen und des heftigen Anpralls an widerstandsfähige Felsküsten erreicht die Klippenbrandung so beträchtliche Höhen, die nach Stevensons Beobachtungen im Durchschnitt der 7fachen (genau der 6,6fachen) Wellenhöhe[3]) gleichkommen. Da nun Munke letztere zwischen Hull und Helgoland auf offener See bei stürmischem Wetter bis auf 4 m und bei weiterer Steigerung des Sturmes im Maximum auf $5^1/_4$ m, Stevenson die Maximalhöhe bei Sunderland auf 4 m, ein englischer Kapitän in der Nordsee auf höchstens 6 m schätzt, so würden die Wellen nach obiger Formel an den Klippen im günstigsten Falle eine Maximalhöhe von 42 m erreichen. Wenn wir nun jene Formel auch nicht auf die Flachküste anwenden dürfen, so ist doch so viel ersichtlich, daß an unserer deutschen Nordseeküste zu den Zeiten der Springfluten in Begleitung anhaltender Nordweststürme die Wellenhöhe eine sehr beträchtliche sein muß. So läuft die Brandung zwischen Hanstholm und Vorupör bei stürmischem Wetter an Land bis zu 3,8 m über die Hochwassergrenze.[4]) Schütte[5]) berichtet, daß am Hohenweg-Leuchtturm die Wellen schon bei Windstärke 10 bis zu der Brüstung, die 8 m über dem zur Ebbezeit unbenetzten Fundament angebracht ist, hinaufleckten und daß der Gischt fast bis zur Höhe des Semaphorenmastes spritzte und alle Gegenstände in seinem Bereich mit einer weißen Salzkruste überzog (S. 36). —

Für uns ist es nun wichtig, zu erforschen, bis zu welcher Tiefe die Welle sich bemerkbar macht. Nach der auf experimentellen Untersuchungen der Gebr. Weber beruhenden Theorie ist die Wellentiefe gleich dem 350fachen Betrage der Wellenhöhe. Wenngleich nun auch erstere bei größeren Tiefen eine Einschränkung erfährt, so ist die Welle nach Supan dennoch imstande, ihre lebendige Kraft bei einer Tiefe von 200 m in Arbeit umzusetzen.[6]) Laut Berichten von Seeleuten kommt es vor, daß Sturmwellen in der Nordsee und auf der Neufundland-Bank aus einer Tiefe von 50 m Sandkörner auf Deck spülen,[7])

[1]) Siehe Karte und Bild in Haas, Nordseeküste, S. 161.

[2]) Bemerkung: Den sogenannten Soog kann man leicht durch ein ins Wasser geworfenes Holzstückchen und Tuch feststellen; während das an der Oberfläche schwimmende Holz von der anlaufenden Welle strandwärts getragen wird, schwemmt das am Boden zurückfließende Wasser das durchtränkte Tuch nach der See zu. In dem Soog liegt eine große Gefahr beim Baden während hohen Seeganges. (Vgl. Hagen, Wasserbau.)

[3]) O. Krümmel, Ozeanographie II, 1911, S. 53, 54.

[4]) Segelhandbuch, 1906, I, 3, S. 51.

[5]) Jahrbuch des Vereins für Naturkunde an der Unterweser für 1903/04. Bremerhaven 1905. (Mir stand durch die Freundlichkeit des Herrn Schütte ein Separat-Abdruck zur Verfügung.)

[6]) A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 295, 296.

[7]) O. Krümmel, Ozeanographie I, 1907, S. 165. (Oberbaurat Krüger führt diese Erscheinungen auf Wirbelströmungen zurück.)

Beweise dafür, daß schon bei mäßig bewegter See der Bodenbelag fast der ganzen Nordsee in Bewegung sein muß, da der ganze südliche Teil die Tiefe von 100 m[1]) nirgends überschreitet. Es ist mithin gewiß keine gewagte Behauptung, daß der N-, NW- und W-Wind schon bei mäßiger Stärke Sandmassen an unsere Küste verfrachtet, auf dem Boden die gröberen Sände, nach oben hin von »grob« zu »fein« allmählich abnehmend, jene vielleicht ruckweise, diese ständig in der Schwebe. Wegen der überaus flachen Böschung unseres Kontinentalsockels wird es den Wellen ein leichtes sein, die Sände hinaufzubefördern. Vermehrt wird diese Masse um die durch die Brandung und durch die ablaufende Welle vom Sandstrande der Inseln abgelösten Sände. Welche erstaunliche Mengen hierbei umgesetzt werden, zeigt ein von Beyer südlich von Westerland auf Sylt angestellter Versuch.[2]) Eine mit der oberen Kante etwa 2 mm tiefer als die Sandfläche eingegrabene Zigarrenkiste wurde schon bei schwachem Westwinde von höchstens Stärke 2 durch eine einzige Welle mit grobkörnigem Sand vollständig gefüllt, so daß die Stelle, wo sie eingesenkt war, überhaupt nicht mehr erkannt werden konnte.[3])

Wo bleibt nun der auf diese Weise von zwei Seiten zusammentransportierte Sand? Daß derselbe weder an den trockenen Strand geworfen, noch in die Tiefe des Meeres zurückgeführt wird, ist in diesem wilden Chaos, in diesem Widerstreit der feindlichen Naturgewalten im allgemeinen ausgeschlossen. Er muß vielmehr hauptsächlich in der Zone bleiben, wo die Begegnung der beiden Widerparten, der auflaufenden Welle und des sogenannten Soogs, infolge der dadurch hervorgerufenen Ruhepause ein Niederschlagen der Suspensionen ermöglicht. An dieser Stelle bildet sich ein Sandrücken mit einem seewärts meistens steil abfallenden Absatz.[4]) Die Lage der Riffe ist naturgemäß bedingt durch die jedesmalige Stärke des Windes und seine Kombination mit den Gezeiten. Dieser Bankreihen tut auch Beyer[5]) Erwähnung, indem er berichtet von einem in einer inkonstanten Entfernung von 200 bis 500 m ziemlich parallel mit der Westküste von Sylt verlaufenden Riff, das etwa 100 m breit und kaum $1^1/_2$ m höher als die Umgebung sei. Diesem seien weiter seewärts 1 bis 2, nur bei stürmischem Wetter an dem weißen Schaum (Brandung!) erkennbare Riffe vorgelagert. Auch an der ganzen jütischen Küste sollen diese Riffe, meistens in der Dreizahl, wie ihm der Strandvogt versicherte, vorkommen.[6])

Diese Erscheinung rufen jedoch in erster Linie die vertikal auf den Strand auflaufenden Wellen hervor. Treffen sie die Strandlinie unter einem spitzen Winkel, so entsteht eine an der Küste entlangstreichende Strömung, die man deshalb mit dem Namen Küstenstrom bezeichnet. Dieser ist sowohl für die Verfrachtung von Material als auch für den Bau der Sandbänke von außerordentlicher Wichtigkeit. Da die aufgelaufenen Wellen nämlich unter fast demselben Winkel ins Meer zurückrollen, legen auch die Sandmassen denselben Weg zurück. Sie wandern also auf zickzackförmiger Bahn in der Windrichtung vorwärts, die gröberen mehr am Boden, die feineren mehr oder weniger in der Schwebe. So beobachtete Beyer[7]) am Sylter Strand, daß eine leere, verkorkte Flasche in 10 Minuten einen Weg von zirka 200 m bei mittelstarkem Winde zurücklegte und bei SSW-Wind und starker Brandung eine größere Planke in $^1/_2$ Stunde zirka 350 m. Die Transportgeschwindigkeit wächst naturgemäß mit der Stärke des Windes und der Größe des Einfallswinkels des Windes, oder mit anderen Worten: sie ist proportional der Windstärke und der Winkelgröße des Windes.

[1]) Vgl. die Admiralitätskarten.
[2]) A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste. Diss. Erlangen 1901, S. 21.
[3]) Vgl. die Fortsetzung ebenda.
[4]) Vgl. Hagen, Wasserbau.
[5]) A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste. Diss. Erlangen 1901, S. 21.
[6]) Vgl. Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 51.
[7]) A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste. Diss. Erlangen 1901, S. 17.

Die durch den Wind verursachte Sanddrift an der Südküste der Nordsee ist demnach, abgesehen von lokalen Abnormitäten, einzig und allein abhängig von der Richtung und Stärke des Windes. Über die Windhäufigkeit und -stärke gibt nachstehende, dem Segelhandbuch[1]) entnommene Tabelle Aufschluß:

Häufigkeit der Winde.

Station	Jahreszeit	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Küste von Enden bis Hamburg	Winter	4	8	14	12	12	27	15	8
	Frühling	10	14	13	9	7	17	15	15
7 Stationen	Sommer	9	9	7	8	8	23	18	18
170 Jahrgänge	Herbst	5	8	12	13	12	26	15	9
		28	39	46	42	39	93	63	50

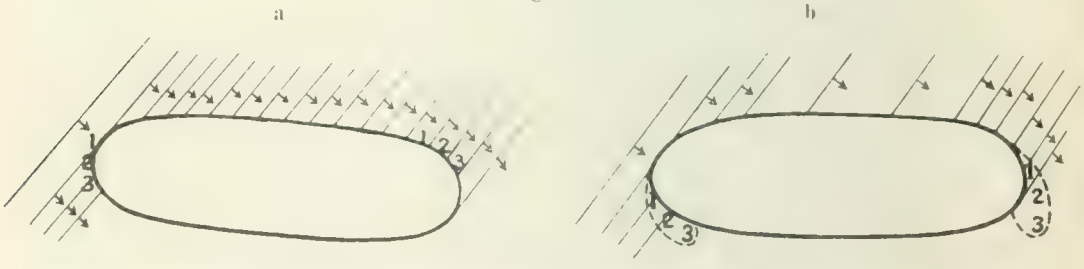
Windstärke (Beaufortskala)

Borkum	2.9	3.1	3.3	2.5	2.6	3.4	3.2	3.2
Hamburg	2.5	2.6	3.0	2.7	2.9	3.8	3.5	3.2
	5.4	5.7	6.3	5.2	5.5	7.2	6.7	6.4

Da die Südküste der Nordsee etwa die Richtung von Westsüdwest nach Ostnordost hat, kommen für den Küstenstrom nach Westen die N- und NO-Winde in Betracht, für den nach Osten die W- und NW-Winde. Letztere sind nun ersteren nach Tabelle I um 46 Einheiten überlegen, nach Tabelle II um 2, ein Ergebnis, das zweifelsfrei dartut, daß während des weitaus größten Teiles des Jahres eine Sedimentverfrachtung aus dem Meere an die Südküste heran und an derselben entlang in östlicher Richtung stattfinden muß. Besonders möge noch hervorgehoben werden, daß die so gefürchteten und unsern Küstengebieten so überaus verhängnisvoll gewordenen Sturmfluten durch die den westlichen Quadranten entstammenden Stürme hervorgerufen wurden. —

Neben den Gezeitenströmen verdanken die eigenartigen, hakenförmigen Anhängsel an den Enden verschiedener Gestadeinseln ihre Entstehung dem Küstenstrom. Denken wir uns einmal eine unserer ostfriesischen Inseln ohne diese Verlängerungen, z. B. Wangeroog. Die aus Nord-

Fig. 2.



westen kommenden Wellen werden (s. Fig. 2), wie die Skizzen, bei denen der Übersichtlichkeit halber die Einzelvorgänge (z. B. das Herumschwenken der Wellen in paralleler Richtung zum Strande) nicht eingezeichnet sind, andeuten, an der NW-Ecke, wo der Anprall ein senkrechter ist, geteilt; der eine Teil eilt unter schiefem Winkel an der Westküste entlang, der andere an der Nordküste. Dabei werden die Sandteile, die wir mit 1, 2, 3 bezeichnen wollen, am Strande entlang und über das Ende der Insel hinaus verfrachtet. Da am südwestlichen Ende relative Ruhe herrscht, lassen sich die Körnchen hier im Stromschatten nieder, wodurch diese Ecke nach und nach eine nasenförmige Spitze erhält. Derselbe Vorgang spielt sich am Ostende ab, jedoch mit dem Unterschiede, daß, während die W- und NW-Seite ständig starken Angriffen ausgesetzt ist, der östliche Teil einer Anlandung neuer Massen sich zu erfreuen hat. Der Vorsprung im Südwesten

[1]) Segelhandbuch 1903, I, 3, S. 21 u. 25.

wird also zum Teil auf Kosten des Weststrandes, der im Südosten zum Teil durch Abnagung des Nordstrandes gebildet, Vorgänge, die durch den Flutstrom intensiv unterstützt werden. Wangeroog, Juist und das Nordende von Sylt sind besonders typische Beispiele dieser Meerestätigkeit.

Jene Vorgänge mußten und müssen naturgemäß eine Verfrachtung der Inseln in OSO-Richtung, sowie eine Verlegung der Seegaten nach Osten zur Folge haben.

Die Sanddrift wird unterbrochen durch die Flüsse, in die der an der Küste entlang verfrachtete Sand schließlich hineingestoßen wird, wo er zunächst an der Böschung hängen bleibt. Der Flutstrom, der am rechten Ufer, in der Richtung des Flutstromes betrachtet, große Energie erzeugt,[1]) hobelt den Sand von der Böschung ab und wirft ihn in das Flußbett, von wo ab er dann zunächst dem Einfluß der Gezeitenströme und Wellen verfallen ist, bis er endlich in den Staugebieten des äußern Mündungsmundes vorerst zur Ruhe gelangt und Material zum Bau der Sandbänke liefert. —

Wir haben also gefunden, daß die Wellen teils aus der Tiefe des Meeres, teils von den der Abrasion unterworfenen Gestaden Sandmassen zum Bau der Bänke herbeitransportieren. –

Die Gezeitenströmungen.

Die Nordsee, die keine selbständige Flutwelle besitzt, empfängt zwei Wellen aus dem Atlantischen Ozean, die eine durch den Kanal, die Kanalwelle genannt, die andere, eine Beugungswelle von Norden her um Schottland herum, die wir die Shetland-Welle nennen können. Diese, die durch drei Tore, nördlich von den Shetland-Inseln, südlich von ihnen und zwischen den Orkney-Inseln und Schottland in die Nordsee eintritt, dringt sowohl nach Skandinavien und in der norwegischen Rinne nach Süden ins Skagerrak vor, als auch in der tiefen Mulde an der Ostküste Großbritanniens nach Süden. Von ihr zweigt sich nach Osten eine Flutwelle ab, teils über die Doggerbank hinweg, teils durch den Silver Pit, einen schmalen tiefen Kanal südlich von ihr. Diese wird bald einer großen Verbreiterung und Verflachung unterworfen, so daß sie sowohl auf Schleswig-Holstein zu, als auch als Hauptzweig in südlicher und südöstlicher Richtung bogenförmig vorwärts schreitet. Die ursprüngliche Welle rückt an Ost-England hin nach Süden weiter und schließlich durch die »Tiefe Rinne«. Bei diesem Vordringen auf die holländische Küste zu wird sie von der Kanalwelle, die auch die Themse bestreicht, abgefangen und nach Osten fortgerissen. Letztere beherrscht den ganzen südlichen Teil der Nordsee in Verbindung mit der von der Doggerbank vordringenden Welle, die in der Streichrichtung des 54. Breitengrades wegen der Ausdehnungsmöglichkeit in tiefem, breitem Wasser den Charakter einer stehenden Welle aufweist und das Übergewicht über die Kanalwelle erhält. Wenn also Ost-England Hochwasser hat, ist an der schleswig-holsteinischen Küste Niedrigwasser; sechs Stunden läuft der Ebbestrom in westlicher, sechs Stunden der Flutstrom in östlicher Richtung. Bis dahin, wo die Kanalwelle die Direktion hat, dürfte der Strom eine O—W-Richtung haben; sobald aber die aus der Silberrinne und über die Doggerbank bogenförmig vordringende Welle vorherrschend wird, geht die Richtung in eine ostsüdöstliche über, die sich schon vor der Emsmündung bemerkbar macht.[2]) In der Helgoländer Bucht hat nach Krümmel[3]) die Welle der Silberrinne bis $55^1/_2$° die Führung. In der Höhe von Sylt nimmt der Flutstrom die Richtung von Süden nach Norden, der Ebbestrom umgekehrt. Nördlich von Horns Riff scheinen die Gezeiten auf ein Minimum beschränkt, wenn nicht ganz zu erlöschen.[4])

[1]) Siehe folgenden Abschnitt.
[2]) O. Krümmel, Ozeanographie II, 1911, S. 355.
[3]) O. Krümmel, Ozeanographie II, 1911, S. 354.
[4]) Vgl. Atlas der Gezeiten und Gezeitenströme für das Gebiet der Nordsee. Herausgegeben von der Deutschen Seewarte 1905.

Nun sind aber die Gezeitenerscheinungen in der Nordsee nicht so einfach und übersichtlich, wie die obigen Ausführungen glauben machen könnten. Die Nordseebucht gehört in dieser Beziehung zu den kompliziertesten aller Meere einerseits wegen der Konfiguration des Meeresbodens, der starken Küstengliederung und des busenartigen Charakters, anderseits aber auch hauptsächlich deswegen, weil wir hier mit zwei, ja, wenn wir die nördliche nach der Zahl der Eintrittstore in drei zerlegen wollen, mit vier Flutwellen zu rechnen haben. Das führt in mancher Beziehung zu bis heute noch nicht völlig entwirrten Komplikationen, wie die von Whewell entworfene und noch deutlicher die Krümmelsche Karte angeben.[1]) Dabei hat dieser, wie er erläuternd zu derselben, die er als einen Versuch für das hieraus entstehende Gewebe der verschiedenen Flutwellen bezeichnet, bemerkt, die Stundenlinien der Nordmeerwelle nur bis 10^h, die aus der norwegischen Rinne kommenden Teile der Shetland-Welle nur bis 4^h und die reflektierten Wellen gar nicht dargestellt, um ein unentwirrbares Knäuel zu vermeiden. Die Karte zeigt eine Unzahl von Interferenzen.

Aus obigen Ausführungen, sowie aus den Karten von Whewell und Krümmel und aus dem Atlas der Gezeiten und Gezeitenströme geht hervor, daß die Richtung des Flutstromes zu der unserer Küste einer etwaigen Sandverfrachtung aus der Tiefe des Meeres eine durchaus günstige ist; denn ersterer streicht auf dem 54. Breitengrade bis 7.5 O-Lg. ungefähr nach Ostsüdosten,[2]) während letztere etwa von Westsüdwesten nach Ostnordosten verläuft, so daß sie sich unter einem spitzen Winkel treffen. —

Dazu kommt, daß der Einfluß der Winde auf den Flutstrom ein ausgesprochen günstiger ist. Nach den Angaben des Segelhandbuchs[3]) verursachen die südwestlich durch Westen bis nordnordwestlich wehenden Winde, namentlich wenn sie von großer Stärke sind und längere Zeit geherrscht haben, eine Ablenkung, und zwar am bedeutendsten der SW- und der NNW-Wind, ersterer, indem er den Flutstrom von der Küste abhält und den Ebbestrom nach Norden hin drängt, letzterer durch Herumbiegen des Flutstromes an die Küste und des Ebbestromes nach Norden, ein Umstand, der um so höher einzuschätzen ist, als die W- und NNW-Winde — die SW-Winde spielen als ablandige keine so große Rolle — in bezug auf Häufigkeit und Stärke sich des Regiments erfreuen.[4]) Auch hat die Erfahrung gelehrt, daß die aus Südosten durch Osten bis Nordosten wehenden Winde eine Ablenkung bewirken,[5]) wobei die NO- und auch noch O-Winde den Flutstrom nach Süden, den Ebbestrom nach Westen drehen.

Aber nicht allein ablenkend, auch hinsichtlich der Geschwindigkeit der Gezeitenströmungen und der Dauer der Gezeiten macht sich der Einfluß der Winde geltend. Das gilt in erster Linie von den W- bis NNW-Winden, weil sie, als Einheit genommen, die häufigsten und stärksten sind. So wurden bei der Schwarzen Tonne 5 im Wangerooger Fahrwasser, wo bei normalen Verhältnissen eine Geschwindigkeit von 1.3 bis 2.5 Sm für den Flut- und 1.2 bis 2.5 Sm für den Ebbestrom herrscht, bei W-Winden mit der Stärke 8 bis 11 für den Flutstrom 5.5 Sm und bei längeren O-Winden mit der Stärke 4 bis 5 für den Ebbestrom 3.9 Sm gemessen,[6]) ebenso an der Wesermündung, wo sonst die mittlere Geschwindigkeit für den Flutstrom 1.2 bis 1.7 Sm und für den Ebbestrom 1.2 bis 1.6 Sm beträgt, bei NW-Wind ein Maximum von 3 Sm. An der Küste ist bei Sturmfluten oft kaum ein Fallendwasser bemerkbar und der Wasserstau so gewaltig, daß selbst die höchsten Deiche, bei deren Bau doch angenommene abnormste Verhältnisse die Höhe bestimmen, keine absolute Sicherheit bieten.

Wir sehen also, daß bei dem Übergewicht der westlichen Winde der Einfluß derselben bezüglich einer etwaigen Sandverfrachtung

[1]) O. Krummel, Die Deutschen Meere im Rahmen der internationalen Meeresforschung. Veröffentlichung. des Inst. f. Meereskunde, Heft 6, 1904, S. 18 u. 20.
[2]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 81
[3]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 80.
[4]) Siehe Windtabellen S. 18
[5]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 81.
[6]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 373

seitens des Flutstromes aus See an unsere Küste ein ausgesprochen günstiger ist. —

Wirken aber überhaupt die Gezeitenströme stoffumsetzend und erodierend, oder mit anderen Worten erstreckt sich die ihnen innewohnende Kraft bis in die Sandregion des Meeres hinab? Theoretisch hat man die Gezeitenäußerungen in folgende Formeln gefaßt:

1. Die Stärke oder die »Fahrt« ist dem Tidenhub proportional, ferner ist sie umgekehrt proportional der Wurzel aus der Wassertiefe. Die Wasserteilchen vom Niveau bis zum Boden schieben sich gleichzeitig, jedoch nicht ganz mit derselben Geschwindigkeit[1]) hin und her.

2. Die Flutgröße ist nach Airy umgekehrt proportional der 4. Wurzel aus der Wassertiefe und auch abhängig von der Breite des gegebenen Bettes, und zwar ist sie umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Breite.[2])

Die Folgerung, die sich für die Praxis daraus ergibt, ist, daß in Trichterbuchten, die sich nach hinten zu verflachen oder spitz zulaufen, die Gezeitenströme am wirkungsvollsten sind.

So haben die Engen der Fundy-Bai, die eine Tiefe bis zu 110 m aufweisen, durchweg reinen Felsgrund,[3]) und im Südarme, in der Enge von Parrsborough, ist der Felsboden in mehr als 200 m Tiefe von allem Grus reingefegt.[4]) Auch in der Umgegend der im Englischen Kanal liegenden beiden Felsrücken, des Varne und des Ridge oder Colbart, besteht der Grund vielfach aus Stein- oder Felsgrund. Ebenso befinden sich in den Gewässern West-Schottlands tiefe Rinnen von 150 bis 200 m inmitten sandiger Flächen eingefurcht; der Boden und die steilen Flanken der Rinne bestehen aus unbedeckten Felsen. Ja, bei den Kanarischen Inseln hat man gelegentlich der Legung von Tiefseekabeln Kuppen gefunden, die, bis zu 1800 und 2000 m aus 4000 m Tiefe aufragend, von Globigerinenschlamm reingeputzt waren.[5]) Oder erinnern wir uns an das Borkum Riff, wo das Senkblei des Seemanns an manchen Stellen vergeblich Grundproben heraufzubefördern sucht. Alle diese Erscheinungen werden auf die erodierende Tätigkeit der Gezeitenströme zurückgeführt. —

Steht somit zweifelsfrei fest, daß der Gezeitenstrom ein sedimentverfrachtender Faktor ist, so fragt es sich, ob und in welcher Weise dieser Vorgang an unserer Küste sich abspielt. Zu diesem Zwecke setzen wir die hiesigen Verhältnisse mit denen jener Örtlichkeiten in Parallele. Dabei finden wir zunächst, daß die Nordsee selbst ein golfartiges Meer ist mit sanft ansteigendem Boden zur deutschen Küste hin. Das steigende Terrain veranlaßt zunächst einen größeren Tidenhub, der nach Airy umgekehrt proportional ist der 4. Wurzel aus der Wassertiefe, anderseits aber auch eine Verringerung der Geschwindigkeit, die beispielsweise in der tiefen norwegischen Rinne 120 Sm, über der seichten Nordseebank aber nur 60 bis 70 Sm beträgt;[6]) allein der Meeresboden dürfte dabei um so energischer angegriffen werden, analog einer am Bergeshang sich hinaufwindenden Straße, auf der ein Wagen leicht und ohne merkliche Spuren zu hinterlassen, hinabfährt, während der hinauffahrende seine Räder tief in den Boden eindrückt (s. S. 15). Diese Beobachtung kann man auf dem sanft ansteigenden Watt machen, wo die vordere Grenzlinie der ankommenden Flutwelle die Sedimentpartikelchen vom Wattboden aufwirbeln läßt. — Bei den Kleinformen, den Flüssen mit ihren verwickelten Ästuariensystemen, die größtenteils submariner Art sind, den Gaten, Baljen, Prielen, kommt noch zu obigem Moment des steigenden Terrains ein anderer überaus wichtiger hinzu: die seitliche Einengung der Welle, die sowohl eine Vergrößerung der Erosionskraft, als auch

[1]) Vgl. S. 25.

[2]) Wir folgen dabei zum Teil der wertvollen Krümmelschen Abhandlung in Petermanns Mitteilungen 1889, S. 129.

[3]) Petermanns Mitteilungen 1889, S. 129ff.

[4]) A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 594.

[5]) O. Krümmel, Ozeanographie II, 1911, S. 285.

[6]) O. Krümmel, Die Deutschen Meere usw. In: Institut für Meereskunde, Heft 6, 1904, S. 19.

eine weitere Erhöhung der Flutwelle zur Folge hat, deren Höhe ja umgekehrt proportional ist der Quadratwurzel aus der Breite.

Wir sehen also, daß die Konfiguration des Meeresbodens für den Sandtransport aus dem Becken an die Küste durchaus günstig ist. —

Schon bei oberflächlicher Betrachtung der Seekarte muß uns nun dreierlei auffallen:[1])

1. daß die sämtlichen von Süden her in die Nordsee einmündenden Flüsse ihren Mündungsmund nach Westen, also sich dem Flutstrom entgegen richten;

2. daß in vielen Fällen die tiefsten und für die Schiffahrt fast allein in Betracht kommenden Fahrrinnen an der westlichen Seite des Mündungsmundes sich befinden,

3. und daß der Ostabfall der Ufer dieser Gebiete und Sände steil, die Westseite dahingegen flach ist.[2])

Was kann die Ursache dieser Erscheinungen sein?

Merkwürdigerweise fließt nun in der Elbe der Flutstrom am Südufer stärker als am Nordufer, der Ebbestrom umgekehrt, was besonders für die Reede von Cuxhaven hervorgehoben wird. Vom zweiten Feuerschiff ab hat die Ebbeströmung sogar eine NNW-Richtung, häufig mit einer Geschwindigkeit von 5 Sm, und zwar ist sie hier an der Nordseite stets bedeutend stärker als an der Südseite. Eine solche verschiedene Lage der Linien größter Stromgeschwindigkeit oder des „Stromstrichs" muß als regelwidrig bezeichnet werden, sobald man sie mit den allgemein für fließendes Wasser in gekrümmten Flußbetten geltenden Gesetzen vergleicht. Denn besonders in den Mäanderbetten ist der Stromstrich stärker gewunden als das Flußbett; er macht schlangenartige Windungen, Serpentinen, wie nebenstehende Zeichnung andeutet. Dabei ist stets das konkave Ufer seinen Angriffen mehr ausgesetzt als das konvexe. Solches müßte nun auch für die Elbe zutreffen, allein der Flutstrom hält sich dessenungeachtet beharrlich am Süd-, der Ebbestrom am Nordufer. Als Ursache müssen wir nach Krümmels Ansicht die Erdrotation ansehen, durch die jeder Strom auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts abgelenkt wird, ein Gesetz, das zuerst von v. Baer aufgestellt wurde. Durch dieses Rechtsdrängen wird, wie wir sahen (S. 15), neue Energie ausgelöst, was sich wegen der Überlegenheit des Flutstromes über den Ebbestrom (vgl. S. 27) in dem stärkeren Angriff des rechtsseitigen Uferhanges und des Bodenbelags bemerkbar machen muß, wodurch sich das Herumbiegen des Mündungsmundes nach Westen, der Steilabfall und die tiefe Rinne am Westufer erklären läßt. Freilich ist man in Fachkreisen über die Einwirkung der Erdrotation auf die Flußmündungen geteilter Meinung; man glaubt, daß der Einfluß weniger der Erdrotation als vielmehr jenen Momenten, die — wie Unebenheiten und Verschiedenheiten in der Härte der Unterlagen — die Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung vorzugsweise bedingen, zuzuschreiben sei.[3]) Ob für unsere Küste vielleicht nicht auch noch andere Ursachen, wie die überaus verwickelten Gezeitenverhältnisse[4]) mitspielen? So scheint noch ein Umstand, der für die Steilheit des Ostabfalls der Flußufer und Bänke als Ursache mit in Frage kommen könnte, besonderer Erwähnung wert. Auffälligerweise ist nämlich sowohl bei der Jade als bei der Weser und Elbe die Böschung gerade an den Stellen eine sehr steile, wo westwärts sich Watten und Riffe anschließen: so das Watt zwischen Wangeroog und der Küste von Jeverland bei der Jade, die Alte Mellum und die Mellum Plate bei der Weser und das Scharhörn Riff und das Neuwerker Watt bei der Elbe. Während nun bei Beginn der Flut der Flutstrom den Eintritt in die Flüsse um jene Watten und Riffe herum nehmen muß, fallen ihm später, wenn die

Fig. 3.

[1]) Siehe Fußnote S. 21 [2]).
[2]) Vgl. Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 261.
[3]) A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 22, 709.
[4]) Vgl. O. Krümmel, Die Deutschen Meere usw. In »Institut für Meereskunde«, Heft 6, 1904.

Watten und Riffe besetzt sind, die Wassermassen, von Westen her über diese hinwegstreichend, in die Flanke, wodurch die oberen Partien des Hauptteils des Flutstromes in östlicher Richtung mit fortgerissen werden. Hierdurch wird ein Kompensationsstrom erzeugt, der von unten her an der Böschung nach oben gesogen wird und der infolgedessen letztere stark angreifen und ihr einen steilen Abfall geben muß. Infolge des Vordringens des Hauptteils des Flutstromes flußaufwärts nimmt der Kompensationsstrom eine schraubenartige Bewegung an. In ähnlicher, wenn auch komplizierterer Weise dürfte sich der Vorgang bei den Bänken abspielen, wo jedoch die Steilheit noch durch ein anderes Moment begünstigt wird: Die Sandwanderung, worauf wir bei dem Kapitel: »Wanderung der Bänke« noch zurückkommen werden. Diesem Kompensationsstrom scheint meines Erachtens neben der Erdrotation und etwaigen andern Ursachen eine hervorragende Rolle bezüglich oben genannter Charakteristika zuzufallen.

Fassen wir zusammen:

Als für die Vergrößerung der Erosionskraft, sowie für die Sandverfrachtung landwärts ausgesprochen günstige Momente haben wir betreffs unserer Küste kennen gelernt:

1. Die schräge Richtung des Flutstromes zur Küste,
2. die günstige Einwirkung der Winde,
3. die günstige Konfiguration des Meeresbodens und der Küste (steigendes Terrain, seitliche Einengung),
4. die rechtsseitig sich steigernde Kraftäußerung des Flutstromes, hervorgerufen durch die Erdrotation, den Kompensationsstrom und noch etwaige andere Ursachen.

Auf die Erosion und den Transport des Sandes wirken jedoch drei Umstände höchst nachteilig ein:

a) Daß die Gezeitenströme in der Fundy-Bai so gewaltige Werte zeitigen, ist außer den berührten Gründen zum nicht geringen Teil darauf zurückzuführen, daß wir es dort mit nur einer Flutwelle zu tun haben, die steigend und fallend dieselbe Bahn durchmißt. Die Nordsee dahingegen hat, wenn wir so rechnen wollen, 4 gesonderte Flutwellen mit unzähligen Interferenzen und Reflektionen,[1]) wodurch ihre Richtung keine einheitliche bleibt, ihre Kraft zersplittert und ihre Intensität höchst nachteilig beeinflußt wird.

b) Man sollte nun meinen, daß für einen etwaigen Sandtransport das ungleich schwerere und tragkräftigere, salzige Meerwasser von Vorteil sei. Aber Experimente haben gerade das Gegenteil ergeben. Denn trotz der Beimengung von Salzen, die sein spezifisches Gewicht wesentlich erhöhen, besitzt es gleich allen Elektrolyten die überraschende Eigenschaft, mechanisch beigemengte, schwebende Sedimente rasch auszuscheiden und sich zu klären, wovon sich jeder leicht überzeugen kann, der in ein mit Süßwasser gefülltes Probierglas und in ein anderes mit Salzwasserfüllung gleiche Gewichtsteile Sedimente schüttet: während ersteres die Trübung längere Zeit beibehält, nimmt letzteres in kürzester Zeit die schönste Klarheit an.

Diese Ausscheidungsfähigkeit ist dem jeweiligen Prozentsatz des Salzbestandes proportional. Derselbe ist in den verschiedenen Jahreszeiten, wie in den Tiefen sehr veränderungsvoll, wie nachstehende drei Tabellen zeigen.[2])

Tabelle I enthält für das Oberflächenwasser die nach etwa 20jährigen Beobachtungen der Kieler Kommission zur Erforschung deutscher Meere berechneten Monatsmittel des Salzgehalts. Auffälligerweise hat das Oberflächenwasser bei Helgoland und dem Weser-Feuerschiff den größten Prozentsatz an Salz und damit verminderte Transportkraft gerade in den Wintermonaten, in denen die Elbe und Weser den größten Wasserreichtum haben, eine Abnormität, die wahrscheinlich durch die reichlichere Wasserzufuhr aus dem Salzquellgebiet, dem Atlantischen Ozean, durch die im Winter stärkeren W-Winde verursacht wird.[3])

[1]) Siehe S. 19 u. 20.

[2]) Segelhandbuch 1903. I. 1. S. 74 ff.

[3]) **Bemerkung:** Die Menge betrug für November bis April mehr als das Doppelte derjenigen für Mai bis Oktober: 1 : 0,45.

Tabelle II gibt den Salzgehalt für die verschiedenen Tiefen im zentralen Teil des Skagerraks an, wo die Verringerung der Transportkraft am 12. September 1893 größer war als am 4. Februar 1890. Besonders charakteristisch ist bei beiden Reihen die Abnahme der Tragkraft nach der Tiefe zu.

Tabelle III zeigt die Einwirkung der Winde auf den Salzgehalt von der Oberfläche bis in 38 m Tiefe für das Jahr 1890 (1. bis 8. Februar und 13. bis 23. Februar). Wir sehen, daß bei SW- bis W-Winden der Salzgehalt in allen

Tabelle I. **Pro Tausend.**

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
Helgoland . . .	33.4	33.5	32.6	32.2	32.0	32.0	32.2	32.4	32.8	33.0	33.5	33.1	32.8
Weser-Feuerschiff . . .	33.1	33.1	32.9	32.9	32.8	32.4	32.4	32.2	32.2	32.5	33.0	33.3	32.8

Monatsmittel des Salzgehaltes nach etwa 20jährigen Beobachtungen der Kieler Kommission zur Erforschung deutscher Meere.

Tabelle II. **Pro Tausend.**

Tiefe in Metern	0	10	20	30	40	50	60	80	100	Großter Unterschied
4. Februar 1890	32.3	32.4	33.3	34.5	34.8		35.0	35.0	35.0	2.7
12. September 1893	29.8	29.8	31.3	34.8	34.9	35.1	35.1	35.1	35.2	5.4

Salzgehalt des Tiefenwassers für den zentralen Teil des Skagerraks.

Tabelle III.

	Wind	Salzgehalt in ‰			
		Oberfläche	Tiefe 15 m	Tiefe 23 m	Tiefe 38 m
1. bis 8. Februar 1890 . .	SW bis W	33.2	33.5	33.8	34.3
13. „ 23. „ . .	SSO „ S	26.7	30.1	32.6	34.7

Salzgehalt des Oberflächen- und Tiefenwassers bei westlichen und südlichen Winden beim Feuerschiff Skagen.

Tiefen zu-, die Transportkraft damit aber abnimmt. SSO- bis S-Winde erzielen bis 23 m Tiefe geringere Salzmengen, in 38 m jedoch größere als die W-Winde. Als Grund gibt das Segelhandbuch[1]) an, daß die SW- bis W-Winde einerseits den Oberflächenstrom des süßen Ostseewassers zurückhalten, anderseits aber neue salzreiche Massen aus dem Atlantischen Ozean hereintreiben; deshalb auch der geringe Unterschied von 1.1 ‰. Bei SSO- bis S-Winden ist das Verhältnis umgekehrt, wodurch die bedeutende Differenz von 8 ‰ erzielt wird, ein auffallender Kontrast, der wohl in der Hauptsache mit darauf zurückzuführen ist, daß das Abtriebwasser der Oberfläche nach Westen einen Bodenstrom aus dem Atlantischen Ozean nach Osten hervorruft.[2])

Ferner lehren die Karten: »Verteilung des Salzgehalts in Oberflächenwasser«,[3]) daß der Prozentsatz an Salz nach der hohen See hin zunimmt.

[1]) Segelhandbuch 1903, I, 1, S. 77.

[2]) Einen andern Punkt: Welchen Einfluß die Temperatur des Wassers auf das spezifische Gewicht desselben ausübt«, möchte ich hier übergehen und einer besondern Studie vorbehalten.

[3]) Nachtrag zum Segelhandbuch 1903, I, 1 (letzte Seite).

Die Ergebnisse unserer Erörterung sind also folgende:
Die Transportfähigkeit des Wassers erleidet Einbuße:
1. in den Wintermonaten, 2. mit zunehmender Tiefe, 3. bei W-Winden, 4. nach der hohen See zu.

Die drei ersten Punkte sind dabei nicht gering einzuschätzen, da die Tragkraft einerseits gerade in der Sandregion, anderseits bei Westwinden, die besonders zur Winterzeit herrschen und dem Sandtransport vorzugsweise förderlich sind, am geringsten ist.

c) Für die Sandverfrachtung aus dem Meere ist auch die Frage von Wichtigkeit, ob die Geschwindigkeit nach der Tiefe zu dieselbe bleibt. Die in den Fluttabellen[1]) angegebenen Werte beziehen sich sämtlich auf die Oberfläche. Für die Tiefe liegen jedoch, wie Krümmel sagt,[2]) sehr wenige zuverlässige Messungen vor. Wir müssen uns deshalb mit folgender dürftigen Zusammenstellung[3]) begnügen, bei der wir gleich den Elbestrom, auf den wir doch noch zurückkommen müssen, der Vollständigkeit halber mit berücksichtigen.

Stromgeschwindigkeit in cm sek.

Station	Flut		Ebbe		Abnahme für	
	an der Oberfläche	in ca. 8 m Tiefe (2 bis 5½ m über dem Boden)	an der Oberfläche	in circa 8 m Tiefe	Flut	Ebbe
1. Feuerschiff Genius Bank	111	99	117	92	10.8 %	21.4 %
	Schicht bis 10 m	In 70 cm Tiefe, 3 m über dem Boden				
2. 55° 58′ N-Breite 3° 20′ O-Länge	Max. 15.9 cm 20.1 20.1 — Mittel 18.7 cm	Max. 8.9 cm 13.2 10.2 — Mittel 10.8 cm			42.9 %	

Bemerkung: Die 2. Reihe entstammt der Schrift: Bulletin trimestril etc. 1906/7, B. p. 37 u. 1905/6, B. p. 114.

Die Geschwindigkeit beträgt also nach der 1. Reihe an der Oberfläche 111 cm/sec, in der Nähe des Bodens 99 cm/sec, bei der 2. Reihe in den oberen Schichten 18.8 cm/sec, in der Tiefe von 70 m 10.8 cm/sec, was für erstere einen Verlust von 10.8 %, für letztere einen von 42.9 % bedeutet. Es ergibt sich also, daß die Geschwindigkeit des Flutstromes mit zunehmender Meerestiefe abnimmt, ein Zeichen dafür, daß die Transportkraft nach der Tiefe zu sich verringert. Der Grund dürfte wahrscheinlich in der Reibung der unteren Wasserteilchen am Boden und in der Zunahme des Salzwassergehalts nach unten hin zu suchen sein. —

Von den drei gefundenen transportkraftlähmenden Momenten, a) Verzettelung der Flutwelle, b) Salzgehalt des Wassers, c) Verminderung der Geschwindigkeit in der Tiefe, fallen die beiden letzten um so schwerer ins Gewicht, als sie mit den Umlagerungen am Meeresboden, im Revier der Sände, in Beziehung stehen. Dennoch dürfte der Einfluß derselben nur eine Verminderung der Transportkraft, nicht eine völlige Unterbindung der Sandverfrachtung aus See bewerkstelligen, wie schon ein oberflächlicher Vergleich dieser ungünstigen Momente mit den günstigen (S. 23) vermuten läßt.

Die Annahme einer Sedimentverfrachtung seitens des Flutstromes an unsere Küste dürfte durch folgende Tabelle[4]) Bestätigung finden. Sie zeigt eine ständige Abnahme des schwereren Detritus weseraufwärts, ein Beweis dafür, daß der Flußstrom mehr Sandmassen heranschleppt, als er im engen Flußrevier fortzuschleppen imstande ist. Die landwärts sich zeigende Zunahme der tonhaltigen

[1]) Siehe die Segelhandbücher.
[2]) O. Krümmel, Ozeanographie II, 1911, S. 284.
[3]) Petermanns Mitteilungen 1880, S. 130. (Vgl. Annal. d. Hydr. usw. 1879, S. 210.)
[4]) Aus Schucht, Beitrag zur Geologie der Wesermarschen, 1903, S. 13.

Teile dürfte in der Hauptsache in dem Umstande ihren Grund haben, daß wir uns hier im Laboratorium der Brackwasserzone befinden. (Vgl. S. 6 bis 9.)

	Station	Feinsand Korngröße 0.05 mm	Tonhaltige Teile Korngröße 0.05 mm		Station	Feinsand Korngröße 0.05 mm	Tonhaltige Teile Korngröße 0.05 mm
1	Drackenburg . . .	11.2	[illegible]	9	Blexen	60.4	39.6
2	Woltmershausen . .	12.4	[illegible]	10	Wremen . . .	18.0	82.0
3	Rade . . .	17.2	82.8	11	Spieka	15.2	54.8
4	Brake	12.0	[illegible]	12	Dose	91.2	8.8
5	Rechtenfleth	51.6	48.4	13	Langwarden . . .	94.0	6.0
6	Dedesdorf	38.0	62.0	14	Hooksiel . . .	46.8	53.2
7	Nordenham	56.2	[illegible]	15	Carolinensiel . .	41.2	58.8
8	Wulsdorf	74.4	[illegible]	16	Spiekeroog	81.2	18.8

Schließlich möge noch hingewiesen sein auf Krümmels Urteil[1]): »Eine Tideströmung wird am Meeresboden wenigstens im Bereiche der Schelfe eine bedeutende transportierende Kraft besitzen, und, wo sie durch hohen Hub oder seitliche Einengung beschleunigt wird, geradezu ausfurchend auf den Meeresboden einwirken.«

Wir glauben deshalb unser Urteil dahin zusammenfassen zu dürfen, daß die Verfrachtung von Sand seitens des Flutstromes an unsere Küste damit erwiesen ist.

Auf eine nähere Erörterung der **Meeresströmungen**, die im Gebiete der Nordsee nur als Oberflächenströmungen bekannt sind und die nach den vom dänischen Feuerschiff »Horns Riff«[2]) vorgenommenen Messungen nur die geringe Geschwindigkeit von 4 Sm in 24 Stunden haben (0.085 m/sec), so daß ein Wasserteilchen etwa 60 Tage braucht, um von Borkum Riff bis Hanstholm (NW-Spitze Jütlands) zu gelangen, glauben wir verzichten zu können, zumal da die Verhältnisse der Meeresströmungen noch keineswegs als annähernd aufgeklärt betrachtet werden dürfen.

Beide Agentien, sowohl den Flutstrom als auch die Wellen, haben wir als landwärts sandverfrachtende Faktoren kennen gelernt. Ferner sahen wir, daß auch die Flüsse Sand zur Küste hinabschwemmen. Sollen nun diese Massen zum Bau der Sandbänke Verwendung finden, so ist die erste Vorbedingung, daß sie in der Sandbankzone ansässig und nicht wieder fortgespült werden. Hierfür käme die Ebbeströmung in Betracht. Es treten also in den Berührungsgebieten die sandanfrachtenden Agentien und der sandfortspülende Ebbestrom in Gegenwirkung, insbesondere der Flut- und Ebbestrom, eine Erscheinung, die man treffend als einen über unsere Küste verhängten Belagerungszustand bezeichnet. Es ist also eine Untersuchung darüber notwendig, welchem von beiden die größere Stoßkraft innewohnt.

Beobachtungen haben für den Ebbestrom im allgemeinen eine größere Oberflächengeschwindigkeit festgestellt. Auch beim Genius Bank-Feuerschiff ergaben die Messungen für den Flutstrom 111, für den Ebbestrom 117.

Allein in der Tiefe herrscht ein umgekehrtes Verhältnis: beim Ebbestrom ist in der Nähe der Genius Bank das Verhältnis des Oberflächenstromes zum Bodenstrom 117 : 92, beim Flutstrom 111 : 99, oder, in Prozenten ausgedrückt, bedeutet das für ersteren einen Verlust von 21.4, bei letzterem 10.8%. Hiernach steht also der Ebbestrom trotz seiner größeren Oberflächen-

[1]) O. Krümmel, Ozeanographie II. 1911. S. 285.
[2]) O. Krümmel, Die Deutschen Meere usw. In »Inst. für Meereskunde« 1904, S. 13.

geschwindigkeit dem Flutstrom in der Tiefe, im Revier der Sedimentversetzungen, bedeutend nach, ein für seine Erosionskraft ungünstiges Moment. —

Damit schrumpft auch das an und für sich günstige Moment einer reichlicheren Beimischung von tragkräftigerem Süßwasser, dessen sich der Ebbestrom erfreut, auf ein Minimum zusammen.

Während nun der Flutstrom als kräftiger Grundstrom gleich anfangs in enge Tore eintritt und dadurch größere Werte zeitigt und erst später, wenn seine Hauptarbeit verrichtet ist, durch Bestreichen der Wattflächen Lähmung erfahren dürfte, woran wohl nicht gezweifelt werden kann, wenngleich auch bedauerlicherweise Messungen nicht vorliegen, so wird durch die nach der Mündung hin zunehmende Divergenz der Flußufer die Erosions- und Transportkraft des Ebbestromes, da ja durch Einengung größere Bewegungsmomente erzielt werden, gerade in der Zeit seiner Kraftfülle ungünstig beeinflußt. —

Da nun ferner der Grad der Ablenkung[1]) proportional ist der Stromgeschwindigkeit, müßte — unter der Voraussetzung, daß die Unterlagen einwandfrei sind und die Geschwindigkeit beider Strömungen sowohl an der Oberfläche als auch in der Tiefe überall im allgemeinen obigen Angaben entsprechende Werte haben — dieselbe beim Ebbestrom, der ja an der Oberfläche $^1/_2$ bis 1 Knoten schneller läuft, erheblicher und dessen Erosionskraft größer sein als beim Flutstrom; aber weil in der Tiefe ein umgekehrtes Verhältnis herrscht, so steht auch in dieser Beziehung der Ebbestrom in der Sandregion dem Flutstrom nach, weshalb wir auch am Ostufer einen überaus flachen, seichten Anstieg, an der westlichen Flußseite eine so intensiv ausgehobelte Furche wahrnehmen. —

Obige Ausführungen lassen unschwer die Überlegenheit des Flutstromes erkennen. Einen handgreiflichen Beweis hierfür haben wir in nachstehender Tabelle,[2]) in der die Suspensionen des Flut- und Ebbewassers in Vergleich gestellt werden. Sie zeigt, daß der Schlickgehalt kurz nach Eintritt der Flut sein Maximum erreicht. Von da ab macht sich eine Abnahme bemerkbar, was sich hauptsächlich daraus erklären dürfte, daß das Wasser nach Füllung der tieferen Rinnen beim Ausbreiten über die Watten hier infolge der entstandenen Ruhepause Suspensionen fallen läßt, ein Zustand, der bis zur Mitte der Ebbe andauert. Dann kommt der Ebbestrom nämlich wieder in den Bereich des Bodens und kann mehr Massen aufwirbeln.

Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde	Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde
Nach der 1. Stunde der Flut	19 Teile	23 Teile	Nach der 1. Stunde der Ebbe	10 Teile	12 Teile
« « 2.	19	26	2.	10 «	12
3.	15	24	3.	10	12
4.	12	20	4.	12	12
5.	11	16	« 5.	13	13
Bei Hochwasser	10	13	Bei Niedrigwasser	14	16
	86 Teile	122 Teile		69 Teile	77 Teile
			Differenz	17 Teile	45 Teile

Ferner ersieht man, was für uns hier die Hauptsache ist, daß der Flutstrom mehr Sedimente transportiert als die Ebbeströmung. Denn zählen wir, um greifbare Größen zu gewinnen, die einzelnen Teile für Flut und für Ebbe zusammen, so ergibt das für erstere an der Oberfläche 86 Teile, 2 m über dem

[1]) Siehe Petermanns Mitteilungen 1889, S. 134.

[2]) G. Hagen, Wasserbau III. 1, 167. (Hagen entnahm die Proben dem Jadegebiet bei Wilhelmshaven.)

Grunde 122 Teile, für letztere 69 bzw. 77 Teile. Das macht für die Flut ein Plus von 17 bzw. 45 Teilen.

Auch die Bänke selbst verraten die Überlegenheit des Flutstromes. Charakteristisch ist nämlich, daß, wie Hagen experimentell nachgewiesen hat, **ihre flache Böschung stets der Angriffsrichtung der Kraft zugekehrt** ist. Dasselbe gewahrt man bei den Inseldünen, ihren durch äolischen Einfluß entstandenen Schwestern. Da nun die Bänke fast ausnahmslos ihre flache Seite dem Flutstrom entgegenneigen, so wage ich daraus herzuleiten: a) daß der Flutstrom der stärkere der beiden Gezeitenströmungen ist, b) daß die Sandbänke von dieser Seite her die Hauptspeisung mit neuem Material empfangen.

Ich glaube deshalb, soweit uns die Unterlagen einen Schluß zulassen, mich dahin zusammenfassen zu dürfen:

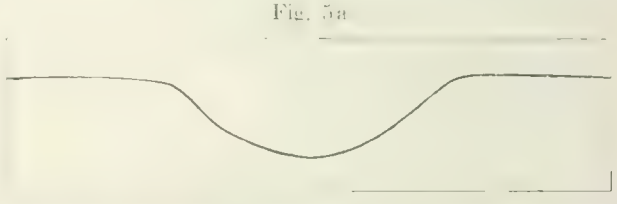
Der Flutstrom trägt mehr Sedimente in die Flüsse hinein, als der Ebbestrom fortzuspülen imstande ist. — —

Die Folge davon ist, daß sich in den unteren Flußläufen Sandansammlungen bemerkbar machen müssen, und zwar entsprechend dem Gesetz,[1]) nach dem dort, wo zwei Strömungen zusammenstoßen, infolge der dadurch hervorgerufenen Stauung ein Niederschlagen der Sedimente veranlaßt wird, an der Stelle, wo der Flut- und Ebbestrom sich treffen, und im Kenterungsgebiet, in der Brackwasserzone. Das Kartenbild bestätigt solches. So entstehen die Gezeitenbarren, eine Flutbarre im oberen, eine Ebbebarre im unteren Flußgebiet, von denen erstere, weil in der Zone starker Flußströmung liegend, mehr eingeebnet, verflüchtigt, abwärts gespült wird. Außerdem wird ein großer Teil, namentlich von dem feinen Detritus, dem Schlick, auf den Watten abgelagert; die durch die Gaten zwischen den Inseln eindringenden Flutwellen begegnen sich hinter den Inseln, wo sie ihre Sedimente in bedeutenderem Maße niederschlagen, was an diesen Punkten Bodenerhebungen zur Folge hat, die von den Watschiffern einfach als hohe Watten bezeichnet werden.

Finden nun aber jene in den Mündungen der Flüsse abgelagerten Sedimente bei der Sandbankbildung Verwendung? Schon ihre Lage in den Barrenzonen läßt solches vermuten. Denn die Barre ist hier nicht eine im großen und ganzen flach gewölbte Bildung, wie beispielsweise die den Gaten der ostfriesischen Inseln vorgelagerten Barren, die infolge der in den Engen förmlich zurückschießenden Ebbewasser ausgewellt sind, sondern sie ist durch die Meeresagentien in viele Teile zerschnitten, in Einzelerhebungen von typisch ausgeprägter Gestalt, die man Bänke nennt, die also als aus dem Barrenmaterial aufgeschichtete Bodenerhebungen zu verstehen sind. –

Auf welche Weise haben wir uns die Bildung der Bänke etwa vorzustellen? Denken wir uns einmal eine von Bänken freie Flußmündung, die aber wegen reichlicher Sandzufuhr zur Bankbildung geneigt ist, beispielsweise die Jade-Mündung in solcher Verfassung. Fig. 5a. Das sandige Bett sei leicht konkav

Fig. 5a



ausgewellt, die Flanken seien sanft geneigt. Der Flutstrom setzt ein. Er hat eine südöstliche Richtung. Auf der Linie Wangeroog—Roter Sand - Leuchtturm begegnet er dem Ebbestrom, wodurch ein Teil der Sedimente sich niederschlägt. Nordöstlich von Wangeroog tritt er in die Jade ein. Die Stütze, die sein rechter Flügel bisher am Gestadesockel hatte, hört hier plötzlich auf, und die Flankenwasser gleiten in die Jade hinein, und zwar dürften dieselben sich anfangs infolge der ihnen innewohnenden größeren Kraftfülle rechtsseitig — von der Flut-

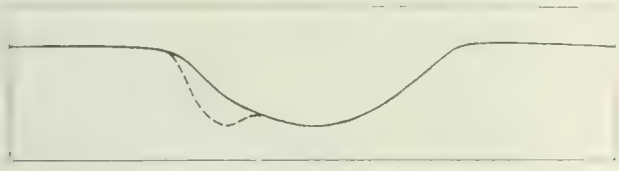
[1]) Siehe S. 15.

strömung gerechnet — eines Vorsprungs erfreuen vor den Partien links. Bald jedoch dürfte sich die schon früher eingesetzte Richtungsänderung nach S hin vollzogen haben. Fig. 5b gibt diesen Moment wieder. Infolge der größeren Kraft-

Fig. 5b.

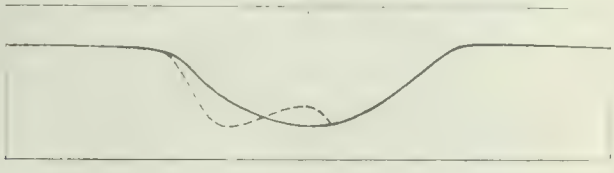
entfaltung an der rechten Seite — ob und wieviel außer der Ablenkung seitens der Erdrotation und dem Kompensationsstrom noch vielleicht ein durch die östlich gelegenen Bänke, vor denen sich die anfangs OSO gerichteten Flutmassen stoßen, hervorgerufener, mehr in den unteren Partien sich vollziehender Rückstau dazu beiträgt, muß einer genauen Untersuchung an Ort und Stelle vorbehalten bleiben — wird das westliche Ufer und das Flußbett an dieser Stelle stark angegriffen, jenem infolge Abrasion einen steileren Abfall verleihend, dieses in seiner Strichlinie intensiv ausfurchend, wie Fig. 5c andeutet. Die hier-

Fig. 5c.



durch auf den Lauf gebrachten Sandmassen, die noch durch das Abfangen des mit dem Flußwasser flußabwärts treibenden Sandes und Schlammes Zuwachs erhalten, werden von der am rechten Hange erhöhten Erosionskraft folgerichtig nach links gestoßen, ein Vorgang, der sich analog der Hagenschen Sandwanderungtheorie vollziehen dürfte. Auf diese Weise müssen sich längliche Sandrillen bilden mit flachem West- und steilerem Osthang, wie Fig. 5d zeigt.

Fig. 5d.



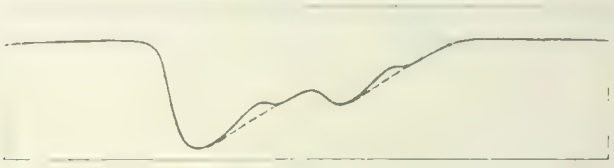
Der ebenfalls rechtsseitig abgelenkte Ebbestrom ist, da er dem Flutstrom nachsteht, nicht nur nicht imstande, sein Bett intensiv auszuhobeln, geschweige denn kann er die ihm von der Flutströmung in den Weg gewälzten Massen beseitigen. Je länger, desto mehr wird sich die Sachlage zu seinen Ungunsten verschieben. Denn dem im Laufe der Zeit immer weiter nach O wandernden ersten Rücken folgen wegen der reichen Sandzufuhren aus W her bald neue. Der Ebbestrom ist deshalb genötigt, seine meistens schwächer ausgefurchte Rinne vom Ufer

entfernt zu verlegen. Krümmel schreibt: Es erscheint der Flutstrom wesentlich erodierend, der Ebbestrom auftragend. (Pet. Mitteilg. 1889, S. 135.) Als Resultat dürfte sich etwa folgendes Profil ergeben: Fig. 5e

Fig. 5e

Doch das so geschaffene Bild mit dem im allgemeinen parallel mit der Streichrichtung des Flusses laufenden und zwischen den beiden Gezeitenrinnen gelegenen Sandrücken wird bald einer Umänderung unterworfen, zunächst durch die Gezeiten, die in dem submarinen Ästuariensystem ähnlich wie in selbständigen Mündungsarmen wirken dürften und dadurch sowohl den typischen O-Steilrand und den flachen im W markanter gestalten, als auch zu dem ersten neue Sandrücken aufwerfen, wodurch das Gesamtprofil ein wesentlich unregelmäßigeres und verwickelteres wird, was Skizze 5f andeutet. Ferner erinnere man sich der Ein-

Fig. 5f



wirkung der nach Richtung und Stärke verschiedenen Winde, die den ruhigen Verlauf der an und für sich regelmäßigen Gezeitenschöpfungen in völlig unberechenbarer Weise beeinflussen. Weststürme beispielsweise erregen manchmal die Grundseen,[1]) die den Bodenbelag aufwirbeln lassen. Ebenso dürften den Sturmfluten starke Veränderungen zuzuschreiben sein. Kurz: das vor unsern Augen sich entwickelte ruhige Bild der angenommenen Jade wird regellos umgestaltet. Frühere Erhebungen sind verschwunden, neue entstanden, die Rinnen verlegt worden. Diese Unregelmäßigkeit in der Konfiguration des Grundes wirft wiederum ihre Reflexe auf die Gezeitenströmungen zurück, wodurch zahlreiche Interferenzen hervorgerufen werden. So nur sind uns folgende Angaben des Segelhandbuchs[2]) erklärlich: »Im Wangerooger Fahrwasser setzt der Strom unter Wangeroog in der Richtung des Fahrwassers, weiter östlich von der Blauen Balje jedoch schräg über dieses, so daß die Schiffe bei Flut nach S, bei Ebbe nach der Jade Plate versetzt werden. In der Alten Jade setzt der Strom in der Richtung des Fahrwassers. Im betonnten Fahrwasser setzt die Flut etwas südlicher zur Kursrichtung nach der Jade Plate und dem Minsener Sand zu, die Ebbe etwas nördlicher zur Kursrichtung. In der unbetonnten Rinne zwischen der Jade Plate und dem Minsener Land setzt der Strom etwa in der Richtung des Fahrwassers und beeinflußt die Strömung im Minsener Fahrwasser.« — Kurzum: man sieht, die Einheit ist gestört, und die schließliche Folge sind die Bildungen gesonderter kuppenartiger Sanderhebungen, die man Sandbänke, Riffe, Untiefen, Sände, Platen, Gründe nennt.

[1]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 205, 378, 379.
[2]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 353.

Wanderung der Bänke.

Daß die Sandbänke einer starken Umbildung unterworfen sind, haben wir bereits verschiedentlich gestreift. Ferner haben wir bei den losen, flüchtigen Sandmassen infolge der Einwirkung des Küstenstromes und der Flutströmung einen beharrlichen Zug, nach O zu wandern, wahrgenommen. Ob solches nun auch bezüglich der Sandbänke der Fall ist? Betrachten wir hierauf hin unsere Gestadeinseln, die wir mit gewisser Berechtigung als hypermarine Sandbänke anreden dürfen. Als Musterbeispiel kann uns Wangeroog dienen, über dessen Kirchturm, den wir als topographischen Festpunkt benutzen wollen, wir nach Alter und Lage durch Urkunden genau unterrichtet sind.[1]) Derselbe wurde nach Einsturz des alten, weit nach W gelegenen Turmes auf Vorstellungen der Elterleute in Bremen durch den Grafen von Oldenburg aufgeführt in der Zeit vom 14. Juli 1597 bis Anfang 1600 und soll nach Angabe des Marine-Oberbaurats Krüger noch 1650 seinen Standort in der Mitte der Insel gehabt haben. Heute steht er am NW-Strande dicht an der See. Also mehr als die Hälfte der Insel, von der wir annehmen dürfen, daß sie der heutigen an Größe zum mindesten nicht nachstand, ist innerhalb eines Zeitraumes von 300 Jahren nach OSO gewandert. Ein ähnliches Bild bieten die andern ostfriesischen Inseln. Juist z. B. mußte in den letzten drei Jahrhunderten dreimal seine Kirche versetzen.

Dieselbe Wanderung, wenngleich auch in anderer Richtung, zeigen, wie weiterhin des nähern erörtert werden soll, die Sandbänke. Über die Art und Weise, unter der sie sich vollzieht, belehren uns die wertvollen Experimente des Franzosen Dubuat und des deutschen Strombau-Ingenieurs G. Hagen.[2]) Dieser berichtet darüber: »Zuweilen werden die Erdteilchen und der feine Sand durch Wirbel fortgerissen. Gewöhnlich aber zeigt sich ein mäßigeres und sanfteres Verfahren. Quer durch den Fluß bilden sich Rücken. Die stromaufwärts gekehrte Böschung fällt sehr sanft ab, die andere sehr steil. Die vom Strom getragenen Körnchen rollen die sanfte Neigung der vorderen Fläche heran, über dieselbe hin und fallen am steilen Ende ab, wo sie im Stromschatten liegen bleiben. Andere legen denselben Weg zurück, bis der ganze Rücken darüber hingerollt ist. Dann ist das erste Körnchen wieder frei und beginnt eine neue Wanderung. Bei mäßiger Geschwindigkeit des Wassers dauert es eine volle halbe Stunde, bis der kleine Hügel von 4 bis 5 Zoll Breite eine solche Station oder eine Strecke, die seiner Breite gleichkommt, zurückgelegt hat. Durchschnittlich würde ein Körnchen zwei Jahre zu einer Strecke von $^2/_3$ Meilen gebrauchen.« Auf Grund dieser interessanten Experimente glauben wir, wenngleich auch keine Messungen über die Sandwanderung in tiefem Wasser vorliegen, annehmen zu dürfen: 1. daß die Meereskräfte den Sand zu Haufen, zu Sandbänken, aufschichten, die sich nicht unter gleichzeitiger Wahrung der Struktur oder plötzlich verschieben, sondern nur allmählich durch Umlagerung, so daß die ganze Masse gleichsam umgepflügt wird, 2. daß die Sandbankwanderung sich etwa in der Diagonale der Streichrichtung des Flut- und Ebbestromes und der Wellen, also in nordöstlicher Richtung, vollziehen muß, wobei den Bänken eine steile Frontböschung verliehen wird. Wesentlich begünstigt wird die Bankwanderung dadurch, daß unsere sämtlichen Flüsse durch das Herumbiegen ihrer Mündungen, des Hauptreviers der Sandbänke, nach W hin dem Flutstrom und den W-Winden eine günstige Operationsbasis im Interesse der Sandumlagerung bieten. Von der Bankwanderung machen jedoch die konstanten Bänke bis zu einem gewissen Grade eine Ausnahme, indem der Kern seine Position innehält und nur die oberen flüchtigen Massen der Wanderung unterworfen sind. Der Sandwanderung

[1]) G. Sello, der Jadebusen. 1903. S. 301.
[2]) G. Hagen, Wasserbau II. S. 162.

an sich sind sie ein gewisses Hemmnis, sozusagen Sandfänger. Die Sanddrift muß also ihren Weg über diese Bänke hinweg oder um sie herum nehmen, wobei sich bei ruhiger Entwickelung Sände in ihrem Stromschatten vorübergehend niederlassen, Verbindungsrücken mit anderen herstellen, Ausläufer bilden dürften, bis dann vielleicht ein kraftvoll einsetzendes Naturereignis eine Änderung herbeiführt.

Einen tiefgehenden Einfluß müssen die wandernden Sandbänke auf die Fahrrinnen ausüben; denn sie werden zunächst deren langsame Verlegung nach Osten bewirken, der aber schließlich ein Ziel gesetzt sein wird, so daß die Mündungsarme sich bequemen müssen, westlich von ihnen sich eine neue Gasse zu bahnen, Vorgänge, die sich also periodenweise wiederholen dürften.

Ab und zu dürfte auch eine Verschiebung der Bänke see- oder landwärts erfolgen, je nachdem der Flutstrom, dessen Erosionskraft unter der Einwirkung der Winde starke Zu- und Abnahme erfährt, oder der Ebbestrom, der wiederum in Abhängigkeit steht von der Wasserführung des Flusses, größerer Stoßkraft sich erfreut. Außerdem beeinflußt die Brandungswelle die Wanderung bald fördernd, bald hemmend.

Betrachten wir unter diesem Gesichtswinkel die Flußmündungen, zunächst die Jade- und Wesermündung, für welche mir ein verhältnismäßig umfangreiches Seekartenmaterial zur Verfügung stand.[1])

Die Jademündung.

Dieselbe besteht aus der Jade im Westen und der Alten Jade im Osten. Sie ist bezüglich ihrer Lage und Tiefenverhältnisse einer steten und gewaltigen Veränderung unterworfen, die durch sich neu bildende und wandernde Sandbänke hervorgerufen wird, was besonders von der Jade gilt.[2]) Betrachten wir die Karten (Taf. 15 bis 17), auf denen die grüne Farbe das Festland, die graue das Watt wiedergibt, die gelbe die von der 6 m-Isobathe begrenzten Sandbänke, die blaue den Sockel derselben von der 6- bis 10 m-Isobathe, so finden wir nur selten eine einigermaßen ruhig verlaufende Fahrstraße von 10 und mehr Metern Tiefe, so nur 1870, 1871, 1876, 1879 und 1881, vielleicht also durch diese 11 Jahre hindurch. Zur Zeit ist die Alte Jade das Hauptfahrwasser, wenngleich ihre Tiefe im Minimum nur 8 m beträgt. Bald ist der eine Arm versperrt, bald der andere, bald beide z. B. 1859. Ferner erkennen wir, daß beide Fahrwasser einen nicht immer in ihrer Örtlichkeit, ihrer Lage, gleich bleibenden Stromstrich bewahren, sondern man kann bei genauerer Betrachtung die Wahrnehmung machen, daß sie neben der Abschnürung bald dieser, bald jener Ausstoßrinne die Tendenz einer östlichen Wanderung zeigen, alles Erscheinungen, die ihren Grund in den Wandersänden zu suchen haben, wie man aus dem Vergleich der Seekarten der verschiedenen Jahre unschwer erkennt. Von den Sänden und Untiefen heißt es deshalb im Segelhandbuch:[3]) »sie sind häufigen und oft sehr beträchtlichen Änderungen in bezug auf Gestalt und Tiefen unterworfen«.

Charakteristisch ist nun, daß alle Seekarten der verschiedenen Jahre bei aller Veränderlichkeit in den einzelnen Teilen dennoch ein fast gleiches Gerippe zeigen: zunächst erstreckt sich von der Alten Mellum ein in Lage und Struktur sehr veränderungsreicher Bänkekomplex zwischen Jade und Weser in nordwestlicher Richtung in See hinein, dessen Endglied der Rote Grund ist, ein Wandersand. Ferner sieht man unweit des Kopfes dieses Komplexes nach Westen zu, aber nicht in derselben Richtung, eine mehr isolierte, von den beiden Fahr-

[1]) Durch gütige Vermittlung des Herrn Marine-Oberbaurats Krüger in Wilhelmshaven war mir von der Werft Wilhelmshaven eine Serie alter und neuer Seekarten zur Benutzung überlassen worden, wofür ich Herrn Krüger, dem ich auch sonst mancherlei Anregung verdanke, meinen tiefempfundenen Dank ausspreche.

[2]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 379.

[3]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 368.

rinnen eingeklemmte Bankmasse, die Jade Plate, die gewissermaßen einen Konservativismus bezüglich der Lage bewahrt und deshalb als konstante Bank anzusprechen ist. Zwischen dem Westufer der Jade und dem Mellum-Komplex fristet nun noch eine Reihe von Wandersänden ein nomadenhaftes Dasein: der Minsener Sand, die H-Plate, der sogenannte Zwischensand.

Durch den Vergleich der beigefügten Karten kommen die in den umspannten Zeiträumen stattgehabten Veränderungen recht deutlich zur Anschauung. Betrachten wir zunächst die Jade Plate, deren Rücken fast bis zum Niedrigwasserspiegel aufragt und sich fast bei jedem Wasserstande und jeder Windrichtung durch heftige Brandung verrät.[1]) Die Karten (Tafel 1 bis 3) zeigen, daß die Bank durch Sandanschwemmungen in der Höhenlage von 5 bis 10 m bald mit dem Roten Grunde, bald mit dem Vorstrand von Wangeroog, bald mit beiden zugleich in Verbindung steht, wodurch die Schiffbarkeit der Fahrrinnen der Jade an Tiefe wesentliche Einbuße erleidet, so daß Schiffe mit großem Tiefgang diese Barren nur zur Flutzeit passieren können, so 1859. Dabei ist aber zugleich zu konstatieren, daß die eigentliche Sandbank (gelb gezeichnet), deren fester Grundstock in der Tiefe von 13 bis etwa 18 m (auf Kartennull reduziert) aus ganz gleichmäßigem, festem, grauem Alluvialton besteht, worunter Waldtorf liegt, unter dem wiederum in etwa 19 m Tiefe teils humoser brauner Ton, teils die unberührte Grundmoräne in Form von vielfach geschrammten Geschieben und Geschiebeton und -Mergel angetroffen wurde, in der Hauptsache, namentlich im westlichen Teile,[2]) die alte Position stets erfolgreich verteidigt, wenngleich auch die revolutionierenden Wasser nicht spurlos über ihren Scheitel hinrasen. Letzteres bezeugt die Bemerkung des Segelhandbuchs,[3]) daß sie sehr veränderlicher Natur ist, was sich also nur auf das oberhalb des festen Alluvialtones lagernde lose Material verschiedener Herkunft bezieht.[4]) Bald bildet sie eine kompakte, eng zusammengedrängte Masse, bald eine längliche Form in der Streichrichtung der Jade, an die sich zuweilen der flüchtige Minsener Sand als Anhängsel anschließt. Wenn wir nun bei der Jade Plate auch nichts von einer eigentlichen Wanderung verspüren, so nehmen wir neben einer gewissen Flüchtigkeit der Bedeckung beträchtliche Sandanlandungen an sich verändernden Punkten wahr.

Beim außerordentlich flüchtigen[5]) Roten Grund konstatieren wir ein langsames, aber beharrliches Zurückweichen nach Nordosten. Die Karte von 1859 zeigt allem Anscheine nach gerade den Zeitpunkt, wo der Zusammenhang mit der Bank, die bis vor kurzem den Namen Roter Grund trug, zu zerreißen droht, um mit neuen von Südwesten her anlandendenMassen eine neue Verbindung einzugehen, die 1868 in ihrer ganzen Mächtigkeit uns entgegentritt. Dieser neue dem Alten Mellum angegliederte Komplex erhält den Namen Roter Grund, während auf die alte Bank dieses Namens die Bezeichnung Roter Sand zurückspringt, dessen Massen nach Nordosten weitertreiben und schließlich an die Tegeler Plate landen.[6]) Von 1868 ab ist in den nächsten 40 Jahren ein stetiges Zurückweichen des Roten Grundes klar ersichtlich, wie aus den Vergleichskarten deutlich hervorgeht, und schon 1908 scheint die Katastrophe wieder sehr nahe gerückt zu sein, welche die Karte von 1859 zeigt, nämlich daß die alte Verbindung, die durch Hineinrücken in die Weser von dieser und von der der Westböschung hart zusetzenden Flut stark benagt und deshalb immer schmächtiger wird, sich löst, um neuen Ankömmlingen den Platz zu räumen. Es scheint also dem Roten Grunde ein Lebensalter von bis etwa 60 Jahren beschieden zu sein.[7])

Ein Bild allergrößter Verwilderung und Flüchtigkeit bieten die anderen Wandersände der Jade: der Minsener Sand, die H-Plate und der Zwischensand.

Der Minsener Sand, den wir wegen seiner nahen Lage am Küstengestade

[1]) »Allgemeiner Bericht über die Bodenuntersuchungen in der Jade«, S. 29.
[2]) »Allgemeiner Bericht usw.«, S. 29.
[3]) Segelhandbuch, 1901, I. 3, S. 293.
[4]) »Allgemeiner Bericht usw.«, S. 30.
[5]) Segelhandbuch, 1906, I. 3, S. 293.
[6]) »Allgemeiner Bericht usw.«, S. 30 u. 31.
[7]) Siehe Vorwort zum Bericht über Bodenuntersuchung in der Jade, S. 2.

auf der Karte von 1859 als jugendliche Bildung ansprechen dürfen, hat schon in der Zeit von 1879 bis 1889 seinen Lauf vollendet und vor 1889 seinem Nachfolger, der bisher den von der östlich von ihm liegenden H-Tonne erhaltenen Namen H-Plate führte, seinen Namen abtreten müssen. Dieser neue Minsener Sand aber fristet 1908 nur noch ein höchst bescheidenes Dasein, und schon ist dessen Nachfolger von Westen her unter der Bezeichnung H-Plate in bedrohliche Nähe gerückt, für die auch schon wieder an der Westecke Ersatz im Entstehen begriffen ist. Die Namen werden dann um eine Station zurückspringen: die H-Plate wird den Namen Minsener Sand erhalten, während der Name H-Plate auf die Ersatzbank an der Ecke des Minsener Old Oog zurückspringt. Der Zwischensand (ein von Marine-Oberbaurat Krüger geprägter Ausdruck; der Name fehlt zwar auf den Seekarten, gibt aber seine Bedeutung treffend wieder, so daß ich ihn festhalten möchte) scheint als Sammelname für die Überreste des Minsener Sandes in den letzten Lebensstadien und für andere Bankfetzen aufzutreten. Er wird nach Abtrennung des alten Roten Grundes als Baumaterial des neuen Roten Grundes Verwendung finden. Alle diese Sände scheinen also eine Lebensdauer von bis fast 30 Jahren zu haben, während sich etwa alle 20 Jahre[1]) eine neue Bank vom Minsener Old Oog ablöst. Das Material dieser Sände dürfte teils durch die Flut aus dem Meere direkt hierher verfrachtet werden, teils durch den Küstenstrom an der Küste entlang, teils durch den Ebbestrom von den weiten Watten aus der Blauen Balje; teils aber dürfte auch der Minsener Old Oog seinen Beitrag liefern; denn durch die rechtsseitig größere Kraftentfaltung des Flutstromes wird das Westufer durch die Erosionskraft desselben besonders stark angegriffen, was sich in dem langsamen Zurückweichen des Minsener Old Oog zu erkennen gibt. Dieser hat sich nach den Angaben des »Vorwortes«[2]) in den letzten 50 Jahren um 1.8 km nach SSW zurückgezogen, was an der Stellung der Old Oog-Bake deutlich erkennbar ist, die immer soweit wie möglich nach NO hinausgeschoben wurde. Die Abkeilung scheint deshalb auch, wie die Karten vermuten lassen, von Westen her durch den Flutstrom, der die Massen nach links wirft, zu erfolgen; der Flut- und Ebbestrom im Verein mit den Wellen führen sie dann schräg rechtsseitig nach NO weiter. — Von allen Sänden dieses Gebietes sind die Wandersände südlich der Jade Plate wegen ihrer Lage in einem Gebiet, das wohl zu den verwickeltsten gerechnet werden muß, am meisten dem Widerstreit der verschiedenen Strömungen ausgesetzt. Da sie nämlich unter dem Einfluß des besonders hier erosionskräftigen Flutstromes, der um die Festlandsecke und um die Jade Plate herumbiegen muß, stehen, da ferner die tiefe Rinne der Blauen Balje die Gezeitenströmungen stark beeinflußt,[3]) was zahlreiche Interferenzen zur Folge hat, bieten sie nicht selten ein Bild arger Zerzausung. Ein gewisser vorübergehender Sammelpunkt der flüchtigen Fetzen, die vom Hauptkörper abgesprengt werden, scheint das südöstliche Ende der Jade Plate zu sein, in deren Flutschatten sich die Sände niederlassen, bis sie von den Agentien auch von hier wieder fortgetrieben und schließlich, von dem Flut- und Ebbestrom nordostwärts verfrachtet, dem Mellum-Komplex angegliedert werden.

Die Bankwanderung verursacht folgerichtig eine Wanderung der zwischen ihnen liegenden Rinnen, die Wassertiefen bis zu 20 m, meist etwa 14 m bei Niedrigwasser haben, so daß die Meeressohle durch diese Wanderungen gewissermaßen bis auf 14 m gepflügt wird,[4]) Vorgänge, die in den Bezeichnungen »alter« und »neuer« Flußlauf beredten Ausdruck finden. Die Flüchtigkeit, der die Mündungstrichter unserer Flüsse unterworfen sind, läßt deshalb auch die auf allen Seekarten wiederkehrende, stereotype Bemerkung erklärlich finden, daß die Fahrwasser und Sände einer fortwährenden, oft sehr beträchtlichen Veränderung unterworfen seien.

[1]) Siehe »Vorwort zum Bericht über Bodenuntersuchungen in der Jade« S. 2.
[2]) Siehe »Vorwort usw.« S. 1.
[3]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 353.
[4]) »Vorwort usw.« S. 1.

Die Wesermündung.

Hier begegnet uns dasselbe Bild. Auch sie hat zwei Ausflußrinnen, die Alte Weser im Osten und die Neue Weser, auch kurzweg Weser genannt, im Westen, von denen erstere vor Jahren das einzige Fahrwasser zum Einlaufen in die Weser war, aber in neuerer Zeit seit der Vertiefung der Neuen Weser an Bedeutung verloren hat.[1]) Wie der Jademündung die Jade Plate, so ist der Wesermündung der Rote Sand vorgelagert.[2]) Er hat aber nicht die Seßhaftigkeit jener, sondern ist eine Wanderbank, jedoch nicht von so großer Flüchtigkeit als etwa der Minsener Sand. Infolge seiner durch die beigefügten Karten veranschaulichten Wanderung nach Nordosten verwehrt er zunächst der Neuen Weser den Ausweg, dann der Alten Weser. 1859 [3]) fristen seine kümmerlichen Überreste nördlich der Alten Weser ihr Dasein; aber schon hat er Ersatz gefunden in der Sandbank, die bis vor kurzem den Namen Roter Grund trug und deren lose, durch ein Untiefenband von fast 10 m bestehende Verbindung mit der Mellum Plate zu zerreißen droht, was bald nach 1859 sich vollzogen haben muß, da 1868 der neue Rote Sand uns bereits in stattlicher Gestalt entgegentritt. Er ist also der Überrest des Roten Grundes, der infolge seines Wanderns nach Osten durch die Flutwelle und Weserströmung, deren Frontangriffen er mehr und mehr ausgesetzt war, von dem Mellum-Komplex abgesprengt wurde und sodann unter Abgabe seines Namens an seine Ersatzbank die neue Benennung: Roter Sand annahm, der wiederum gleichzeitig an Stelle des sich verflüchtigten bisherigen Trägers dieses Namens trat. Durch die Absprengung des neuen Roten Sandes von der Mellum Plate wurde ihm eine isolierte Stellung zwischen der Neuen und Alten Weser angewiesen. Aber schon 1879 ist er unter gleichzeitiger Vermehrung der Sockelmassen weiter nach Nordosten gerückt, die Alte Weser zwingend, in einem weiten Bogen nach Osten um ihn herumzubiegen, um die See zu erreichen. Seine höher gelegenen Teile sind 1889 stark zersprengt; aber die Grundkomplexe haben durch ihre angestrebte und nunmehr vollzogene Verbindung mit den östlich der Alten Weser gelegenen Bankmassen, der Tegeler Plate, die Tiefe des Weserarmes wesentlich verringert. 1898 ist eine starke Höhenzunahme, wie auch ein Vordringen der Tegeler Plate, von der eine Stelle von beträchtlichem Umfang seit 1889 zur Watthöhe aufgeschichtet worden ist, zu konstatieren.

Der Transport und die Angliederung des Roten Sandes an die Tegeler Plate dürfte sich dadurch erklären lassen, daß er durch sein beharrliches Wandern nach Nordosten der Weser zu nahe kam, wodurch er der einfallenden Flut, die ja dem Westhang besonders hart zusetzt, zum Opfer fiel und infolge des Bestrebens der Flut, ihr Bett auszuhobeln, in östlicher Richtung fortgestoßen wurde. Die Ebbe, die ja in der Tiefe nicht so große Kraft entwickelt, vermochte den Sand nicht ganz fortzuspülen, sondern trug ihn nur in ihrer Stromrichtung d. h. an der östlichen Böschung nordostwärts, bis er von der nächsten Flut, deren Angriffen er jetzt schon mehr ausgesetzt war, weiter nach Nordosten verfrachtet wurde. Die Ebbe besorgte dann wieder das ihrige, und so gelangte er nach und nach durch die Alte Weser an die Tegeler Plate, deren Ausläufer nach den Angaben des Segelhandbuchs[4]) meist aus Treibsand bestehen.

Infolge der Verlandung des Roten Sandes an die Tegeler Plate ist der Alten Weser das Ausstoßrohr teilweise verstopft; sie hat sich deshalb, wie es scheint, zwischen der Tegeler Plate und dem Wurster Watt 1889 und noch besser 1898 einen Notausgang geschaffen, der jedoch 1908 infolge starker Versandung an Bedeutung verloren hat. Unterdessen aber kämpfte auch die Neue Weser wegen des unaufhaltsamen Vorrückens des neuen Roten Grundes schwer um ihre Existenz. Aber gerade das Vordringen desselben gereichte ihr zum Vorteil; denn die Flut wurde dadurch gezwungen, ihren Lauf entgegen ihrer

[1]) Segelhandbuch 1906, I. 3, S. 318.

[2]) Der Rote Sand-Leuchtturm steht in 7 m Tiefe bei Niedrigwasser; das Feuer ist 23,9 m über Hochwasser. Segelhandbuch 1906, I, 3, 296.

[3]) Siehe die Karten.

[4]) Segelhandbuch 1906, I. 3, S. 293.

Eigenart mehr über Norden herum zu richten, was zur Folge hatte, daß sie durch ihre Flankenangriffe auf den Roten Sand die Angliederung desselben an die Tegeler Plate beschleunigte. Jedoch mit der dadurch hervorgerufenen Verstopfung der Alten Weser und der Verengung des Neuen Weserbettes steht die Vergrößerung der Stoßkraft des Flusses in umgekehrtem Verhältnis. Die Strömung hat deshalb 1909 sowohl den Roten Sand wiederum abgesprengt und ihm einen Platz zwischen beiden Fahrrinnen angewiesen, als auch die Verbindungsbrücke zwischen dem Roten Grund und der Mellum Plate stark verschmälert (vgl. 1899 u. 1909), wodurch sich die Position vorbereitet, die uns schon 1859 begegnete. Die schwache Verbindung zwischen dem Roten Grund und der Mellum Plate, die 1908 nur noch in einer Untiefe von — 8 bis 9 m besteht, läßt einen völligen Bruch schon in allernächster Zeit vermuten, so daß hier dann die Neue Weser ihren Lauf nehmen wird. Mit der infolge Durchbruchs der Brücke erfolgten Verlegung des Bettes der Neuen Weser südlich des Roten Grundes dürfte die endgültige Angliederung des Roten Sandes an die Tegeler Plate vollzogene Tatsache geworden sein, worüber jedoch erst die nächsten Jahre Klarheit geben können. Im übrigen vollzieht sich nach Loslösung des Roten Grundes derselbe Namenstausch wie früher, indem die Namen gleichsam eine Station zurückspringen, um den Transport neuer Wanderbänke durch die Weser zu eskortieren. Das Lebensalter des Roten Sandes beläuft sich also analog dem des Roten Grundes naturgemäß auf etwa 60 Jahre. —

Fassen wir zusammen: aus dem Vergleich der Seekarten von der Jade- und Wesermündung aus den Jahren 1859 bis 1908 geht mit unzweideutiger Bestimmtheit hervor, daß die Sände von Westen nach Nordosten durch die beiden Flußmündungen hindurch verfrachtet werden, und zwar die äußere Kette in etwa 60 Jahren, die Innensände in etwa 30jährigen Zeiträumen, wobei auch die Rinnen dieselbe Wanderung mitzumachen gezwungen sind.[1])

Die Emsmündung.

Der folgenden Untersuchung lagen neun Seekarten[2]) zugrunde aus den Jahren 1833,[3]) 1859, 1866, 1874, 1888, 1897, 1901, 1907, 1909. Aus ihrem Vergleich geht hervor, daß auch die Ems dasselbe Bild größter Veränderung und Verwilderung bietet. Die Festpunkte, an die wir unsere Untersuchungen anschließen wollen, sind: die Groninger Watten, Borkum und Juist. An Sandbänken kommen unter anderen in Betracht: Borkum Riff, Juister Riff, Geldsack, Ballon Plate, Hubert Plate und Möwen Steert. Auch hier haben wir es wieder wie in der Jade zum Teil mit konstanten Sänden zu tun. Wie die Karten dartun, gehören wohl das Juister Riff, das Borkum Riff und der Geldsack zu dieser Kategorie; denn in den 76 Jahren behaupten sie trotz aller Veränderung in den Höhenverhältnissen ihre Lage. Das gewaltigste ist das Borkum Riff. — Ferner wollen wir vorausschicken, daß die Ems in zwei Hauptarmen, in der Wester- und Osterems, die die Insel Borkum umfassen, sich ins Meer ergießt. Die Westerems als das Hauptfahrwasser bietet dem Schiffer drei Tore: Westerems, Hubert Gatt und Riff Gatt, von denen erstere mit 7 m Tiefe von dem Segelhandbuch[4]) als das günstigste, das Hubert Gatt als dasjenige mit den größten Tiefen, die nirgends unter 8 m betragen, bezeichnet wird. Die Lauwers Gründe, die Ballon Plate mit der Rottumer Bült, der Geldsack und das Borkum Riff sind die Torpfosten.

Der Geldsack bedeutet für die Westerems das, was die Jade Plate für die Jade ist. Auch bei ihm erkennen wir, daß er bald isoliert auftritt, bald Beziehungen zum Borkum Riff, bald mit den Groninger Wattgründen, bald mit

[1]) Obige Studienergebnisse decken sich zu meiner Genugtuung in der Hauptsache mit den im Vorwort und »Bericht der Bodenuntersuchungen in der Jade gemachten Angaben, die mir erst nach Abschluß der Studien zu Verfügung standen.

[2]) Die Karten wurden mir von der Wasserbauinspektion Emden leihweise überlassen. Ich spreche an dieser Stelle dem Herrn Königl. Baurat Zander meinen herzlichsten Dank aus.

[3]) Die Karten von 1833 und 1859 können nicht Anspruch auf absolute Zuverlässigkeit erheben.

[4]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 410.

beiden zugleich unterhält. Gerade diese flüchtigen Verbindungsmassen sind für unsere Untersuchungen wertvoll. Eine solche besonders starke Brücke, die sich dabei der Hubert Plate dienstbar gemacht und eine Tiefe von stellenweise — 2 m hat, existiert 1833 mit den Uithuizer Watten. Nachdem dieselbe vor 1859 zerrissen worden sein muß, scheint die Hubert Plate, die noch 1833 in beträchtlichem Umfange Watthöhe hatte, dann aber nach dem Bruch ihrer Verbindung als knäuelartiges Gebilde vor einer Priele von dem Hasborn Sand ein äußerst verkümmertes Dasein fristete, um 1874 wieder einer Neugestaltung sich zuzuwenden und nach und nach in nordwestlicher Richtung anzuwachsen; sie hat 1901 die erste, freilich recht schwache Verbindung wiederhergestellt, die dann zusehends anwächst, bis sie auf der Karte von 1909 fast schon dieselbe Mächtigkeit von 1833 aufweist, so daß also das Bild sich nach rund 80 Jahren zu wiederholen scheint.

Ebenso ist eine Verbindung zwischen den Lauwers Gründen und dem Geldsack wahrzunehmen, deren Bildung jedoch einsetzt, als der Abbruch der — sagen wir kurz — Hubert-Brücke beginnt; das Terrain mit mehr als 12 m Tiefe war dort vorher fast völlig frei von Verunreinigung. Schon 1859 wird die höchste Stelle dieser — nennen wir sie — Geldsack-Brücke mit — 6 m Tiefe angegeben. Der Höhenzuwachs dauert bis 1874 an; das Maximum wird 1874 mit — 2 m erreicht. Die höchsten Komplexe haben eine solche Ausdehnung angenommen, daß zwei Teile mit besonderen Namen belegt werden: Ballon Plate im Nordosten und Rottum Bült im Südwesten; ob sie reine Wandersände sind oder im Grundstock einen festen Kern besitzen wie die Jade Plate, wage ich nicht zu entscheiden. Nach 1874, wo also das Anwachsen der Hubert-Brücke wieder einsetzt, ist die Brücke ständig in Abbruch begriffen; 1897 hat sich die Bildung des fast völlig untiefenfreien Hubert Gatts vollzogen, dessen Tiefe und Breite von da ab fast ständig zunimmt, wenigstens bis 1908.

Die höchste Entwicklungsphase sowohl des Hubert Gatts als auch der Hubert-Brücke dürfte auf Grund der Gesamtentwicklung bald erreicht sein, worüber jedoch erst die folgenden Jahre Klarheit bringen können. —

Dieser auffällige Wechsel in dem Entstehen und Verschwinden der Brücken muß notwendigerweise in ursächlichem Zusammenhang stehen.

Die Erklärung dürfte meines Erachtens in den Sanddrifterscheinungen zu suchen sein. Da die Sandmassen am Vorstrand der holländischen Inseln westlich der Lauwers Gründe auftauchen, um sich dann nach Osten hin über den Mündungsmund der Westerems zu ergießen, so ist unschwer zu erkennen, daß auch hier wiederum Flutströmung und Wellen den Transport besorgen. Dafür spricht sowohl die Wanderrichtung nach Osten, als auch der sanftere Westanstieg, was wir ja als Richtungskonstante des Transports aufzufassen kennen gelernt haben. Der Mündungsmund des Hubert Gatts muß sich deshalb infolge des Aufhaltens der Sandmassen stark verstopfen, was das Durchfließen des Flut- und Ebbestromes durch diesen Arm sehr erschwert. Die weitere Folge ist, daß die Sandzufuhr seitens des Flutstromes und der Wellen über die Geldsack-Brücke hinaus mit der Zunahme der letzteren nach und nach abnehmen muß. Infolgedessen erhält die Hubert-Brücke nicht nur nicht genügende Zufuhr, sondern muß umgekehrt den Angriffen des ostwärts setzenden, sedimententladenen Flut- und von der anderen Seite her denen des Ebbestromes allmählich zum Opfer fallen.

Nachdem sich aber der Mund der Hubert Gatts gereinigt hat, besteht für den Flutstrom kein Hindernis mehr, seine Sandmassen weiter transportieren zu können und der Hubert-Brücke, die wahrscheinlich dem Zusammenwirken des Flut- und Ebbestromes, sowie auch der Serpentinenbildung der Alten Ems an der Wurzel der Hubert Plate und am Süd Sparre Gatt ihre Entstehung verdankt, Baumaterial zuzuführen.

Es hat also den Anschein, als wenn die jedesmalige Brücke die Flußbarre sei. —

Da sich in dem Riff Gatt und auf dem Borkum Riff in der Periode, in der das Hubert Gatt sich zu reinigen begonnen hatte, ein Zuwachs konstatieren läßt, so dürfte derselbe in Analogie der vor der Jade und Weser vorkommenden

Drifterscheinungen in erster Linie als das Abbruchsmaterial der Geldsack-Brücke anzusprechen sein. Die Sanddrift und damit auch die Sandbankwanderung scheinen sich also auch hier in etwa nordöstlicher Richtung zu vollziehen. Ob auch die um 1840 sich bemerkbar machende Zunahme des Borkum Riffs eine Erklärung findet durch die Zertrümmerung einer vorher vorhandenen Geldsack Brücke, konnte ich mangels Kartenmaterials nicht feststellen.

Wenn man das Gesamtbild auf sich wirken läßt, so hat es den Anschein, als ob die Sandmassen von Westen her am Wattensaum heranstreichen und allmählich die Bänke der Reihe nach einhüllen, um dann nach Osten hin zu verschwinden.

Die Vorgänge, die sich in der Westerems abspielen, werfen ihre Schlaglichter auf die Osterems. Ihre Existenz steht nicht in kausalem Zusammenhang mit der Ems selbst; sie scheint ihre Entstehung lediglich ihrem Hinterland, den ausgedehnten Watten an der W- und NW-Küste Ostfrieslands zu verdanken, deren Ebbewässer bei ihrem Rückweg ins Meer wahrscheinlich diesen Emsarm einst als Priele ausgehobelt haben. Die Flut- und Ebbeströmungen, die in der Ems sich zeigen, haben dann dieses Umstandes sich bemächtigt und diese Priele zum östlichen Mündungsarm der Ems sich ausbilden lassen. Daß die Osterems in der Tat eine rezente Bildung sein muß, dafür spricht folgende Tatsache. Es bildeten zur Zeit Adams von Bremen (um 1100) Borkum, Juist, Norderney, Buise und Bant eine große, dem Sprengel des Bischofs von Münster zugehörige Insel, die zur Zeit Karls des Großen dem Missionssprengel des Heiligen Liudgeri, des späteren Bischofs von Münster, zugeteilt wurde. (In vita Liudgeri heißt es: insula, quae dicitur Bant.) Von Strabo wurde sie *Βοχανίς*, von den Römern Burcana oder Fabaria, d. i. Bohneninsel, genannt. (Vgl. Plinius.) Ihre Auflösung erfolgte mutmaßlich in der Marcellusflut am 16. Januar 1362[1]), Mannsdränke bezeichnet; wenigstens muß sie vor 1398 liegen, wo schon die einzelnen Inseln genannt werden. Buise und Bant sollen im 18. Jahrhundert untergegangen sein. (1398 heißt der östliche Teil Osterende, im 16. Jahrhundert Norder Neye [= neue] Ooge = Norderney.)[2]) Durch dieses Gebiet legte die Osterems ihr Bett, die noch im 18. Jahrhundert kurz Neue Ems« genannt worden sein soll. Für die Einsegelung in die Ems ist sie völlig bedeutunglos, da sie im Südosten des Randzel eine Untiefe von nur etwa — 2 m hat. Wäre es den Meereskräften gelungen, Borkum gleich den abgesprengten Teilen Buise und Bant wegzuspülen, so würden beide Arme sich infolge des charakteristischen Betrebens der Flüsse, ihren Mund den Gezeiten entgegenzustrecken, wahrscheinlich schon längst zu einem einzigen Arm vereinigt haben. Wenn es gelingen würde, durch ein gewaltiges Höft von Borkum aus über den Randzel durch die Osterems, etwa auf den Manslagter Nacken zu, den Zusammenhang mit der Westerems zu unterbinden, so könnte die Osterems wahrscheinlich wieder auf die Prielenbedeutung zurückgedrängt werden, was sowohl für die Landgewinnung an der NW-Küste Ostfrieslands als auch für die Offenhaltung des Hauptarms von großer Bedeutung sein würde. — Für uns tritt der Punkt in den Vordergrund, wie sich hier die Sanddriftfrage gestaltet. Charakteristisch ist, daß fast ständig, mit Ausnahme von 1888, eine Untiefenverbindung zwischen dem Borkum Riff und dem Juister Riff besteht, deren Längsachse in typischer Weise im allgemeinen etwa Nordwest-Südost verläuft, was offenbar dadurch hervorgerufen wird, daß der Flut- und Ebbestrom nicht dieselbe Streichrichtung haben: ersterer hat sein Bett an der West-, letzterer an der Ostböschung, ganz in Übereinstimmung mit unserer früher gemachten Beobachtung. Aber das allein kann die Existenz der Brücke nicht erklären. Warum nämlich gelingt es beiden Strömungen nicht, ihre Aushobelung progressiv fortzusetzen, um sich doch die Hand reichen zu können, wie es einmal (1888) unvollkommen der Fall ist? Es kann meines Erachtens dafür nur eine Erklärung geben: die Stranddrift vom Geldsack-Komplex her über den teilweise festen Tonrücken des Borkum Riffs

[1]) Supan, Physische Erdkunde, 1911, S. 593.

[2]) Verhandlung der Gesellschaft für Erdkunde, Berlin 1901, 172: K. Kretschmer, Die physische Entwicklung der Nordseeküste in historischer Zeit. (Vgl. Supan, 1911, S. 593.)

hinüber ist quantitativ zu groß, um sie kurzerhand bewältigen zu können, ein Umstand, woraus sich die Existenz der gefährlichen Brauer Platen, auf denen fast immer Brandung steht, erklären läßt; denn sie haben ihren Standort da, wo die Gegner aufeinanderstoßen. Ebenso verraten die westliche flache und die östliche steile Böschung die Wanderrichtung nach Osten. Ähnlichen Ursprungs ist das in der SW-Ecke des Borkum Riffs gelegene Hohe Riff. Einen wie großen Einfluß diese Sandmassen auf das Areal des Borkum Riffs ausüben, zeigt die Karte von 1859, die gerade den Zeitpunkt wiedergibt, wo die Bildung einer neuen Geldsack-Brücke eingesetzt hat, die wahrscheinlich als Nachfolgerin einer früheren aufzufassen ist, deren Abbruch vor 1833 liegen muß; das Abbruchsmaterial der letzteren Brücke scheint nämlich die Vergrößerung des Borkum Riffs sogar durch die Osterems hindurch bis zum Juister Riff hervorgerufen zu haben. 1866 hat sich die Osterems wieder einigermaßen gereinigt; die augenfällige Vergrößerung des Juister Riffs gibt der Annahme Raum, daß es außer dem Memmert Sand, der Kachelot Plate, dem Lütje Sand u. a. m. als Abnehmer des in die Osterems getriebenen und durch die Gezeitenströme allmählich hindurchtransportierten Sandmaterials hierbei in Frage kommen dürfte.

Ob der Randzel, dessen größte Ausdehnung über 7 Sm beträgt, in seinem Grundstock aus alten Landmassen besteht, müssen wir unentschieden lassen, wenngleich auch der Gesamtcharakter dafür spricht. Nur im Osten und Westen bestreichen ihn die beiden Emsarme und geben ihm meistenteils einen steilen Abfall. In seinem Stromschatten im Südosten, wo die beiden Flutwellen der Wester- und Osterems sich begegnen, lassen sich die Sedimente nieder und bilden eine Barre, die zur Zeit im Minimum 2.1 bis 2.4 m Tiefe hat. —

Also auch bei der Ems haben wir dieselbe Sand- und damit auch Sandbankwanderung, sowie periodische Verbarrikadierung der Mündungsrinnen wahrgenommen, bei letzteren jedoch keine auffällige Verlegung wie bei der Jade und Weser, da ihnen durch die flankierenden, konstanten Sandbänke die Bewegungsfreiheit wesentlich beschränkt ist. —

Wo bleibt nun der durch die Emsmündung hindurch verfrachtete Sand? Ostseits der Mündung wird er nicht seßhaft, wie die Karte lehrt, da hier keine Sandanhäufungen in entsprechendem Umfange sich zeigen. Daß er ins Meer zurückgelangt, dürfte bei der Überlegenheit des noch durch die NW-Winde verstärkten Flutstromes über den Ebbestrom ausgeschlossen sein. Es ist nur eine Erklärung möglich, nämlich die, daß er durch den Küstenstrom am Festlande nach Osten hin verfrachtet wird, bis er schließlich in die Jade und Weser gelangt, durch die er auch, wie wir sahen, hindurch wandert, wovon die westlich vom Lande Hadeln sich ausbreitenden ungeheuren Watten: Scharhörn, Großer Knechtsand, Wurster Watt usw. Zeugnis ablegen. Die Driftstoffe scheinen hier Halt zu machen vor dem aus der sonst geraden Küstenlinie herausragenden Land Wursten und Hadeln. Wenn nicht die Jade- und Wesermündung den ruhigen Küstenverlauf unterbrächen, so würde wahrscheinlich die Küstenlinie von Wangeroog aus in der Richtung auf Scharhörn zu sich hinziehen und der Mensch die großen, südlich dieser Linie gelegenen Gebiete dem Meere längst abgerungen haben. Aber trotz der Größe dieser Watt- und Sandbankgebiete kann diese Masse doch nur ein Teil des transportierten, gesamten Materials sein, und zwar namentlich in Anbetracht der langen Zeitperiode, während welcher derselbe Vorgang sich wiederholt hat, ein nicht nennenswerter Prozentsatz. Zudem ist laut Mitteilung des Marine-Oberbaurats Krüger festgestellt worden, daß das Gebiet gegen früher an Höhe abgenommen hat und daß Scharhörn, Knechtsand, Eversand und der Neuwerk Strand an gewissen Stellen in Abbruch begriffen sind. Wohin mag der Rest gelangt sein? Ein direkter Rücktransport ins Meer dürfte, wenn irgendwo, gerade hier gänzlich ausgeschlossen sein, da hierfür nur die Wattenwässer ohne Stärkung seitens eines Festlandsstromes in Betracht kommen. Wir müssen also damit rechnen, daß er auch die Elbe durchwandert. Untersuchen wir also daraufhin

die Elbemündung.

Zum klaren Verständnis der Verhältnisse des Elbewinkels, die von denen der Südküste ganz wesentlich verschieden und teilweise komplizierter Natur sind, erübrigt es sich, dieses Küstengebiet einer besonderen Erörterung zu unterziehen. Die Elbemündung bildet eine gewaltige, golfartige Bucht zwischen Hadeln und Dithmarschen, deren Breite auf der Linie Cuxhaven—König Friedrichskoog 10 Sm beträgt. 15 bis 16 Sm weiter seewärts sind Inseln, Sände und ausgedehnte Watten vorgelagert. Wegen ihrer rechtwinkligen Gestalt sind die Einfallswinkel der Winde und Gezeitenströme ganz andere als an der Südküste.

Wie dürfte sich nun unter dem Einfluß dieser beiden Naturkräfte, die wir als Küstengestaltungsfaktoren kennen gelernt haben, der Sandtransport vollziehen?

Die Gezeitenströme haben in der Elbemündung etwa folgende Richtungen und Geschwindigkeiten:[1])

Station	Flutstrom		Ebbestrom	
	Richtung	Sm	Richtung	Sm
I. Auf dem 54. Breitengrad von [illegible] ab	O	1.0—1.5	W	1,0—1,5
II. Zwischen Leuchtschiff I und II	OSO	1.1—2.1[4])	WNW	1,5—2,5[3])
III. „ „ II „ V	SO	1.5—1.8[2])	NW	2,4—3,6[4])

[1]) Maximum 2,7. [2]) Maximum 3,1. [3]) Maximum 3,8. [4]) Maximum 5,7.

Das Stillwasser ist von unzuverlässiger und in der Regel sehr kurzer Dauer. Zwischen II und V tritt es zuweilen gar nicht ein. Wie obige Tabelle zeigt, biegt die Flutströmung aus Ost über Ostsüdost nach Südost, die Ebbeströmung aus Nordwest über Westnordwest nach West um. Nach den Angaben des Hafenmeisters Polack in Cuxhaven[2]) hat der Ebbestrom unterhalb Feuerschiff II sogar eine NNW-, der Flutstrom vor Hochwasser eine ONO-Richtung, wofür wir wahrscheinlich die Ablenkung, die der Flutstrom dadurch erfährt, daß er vor den Watten westlich von Hadeln sich stößt und gezwungen wird, nordwärts auszuweichen, ferner auch die Teilwelle verantwortlich machen dürfen, die, nachdem jene Watten gesättigt sind, über diese hinweg in die Elbe und damit der Hauptwelle in die rechte Flanke fällt, ein Umstand, der den Kompensationsstrom in Wirkung treten läßt, dem sich als mitwirkender Faktor die Ablenkung seitens der Erdrotation beigesellt. Wir sehen also: beide Strömungen sind für den Transport des Detritus nach dem Nordufer der Elbe hin durchaus günstig. —

Über die Häufigkeit und Stärke der Winde geben folgende Tabellen Auskunft:

Tabelle I: **Windhäufigkeit.**

Station	Jahreszeit	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Küste von Emden bis Hamburg, 4 Stationen, 150 Jahrgänge	Winter	4	8	14	12	12	27	15	8
	Frühling	10	14	13	9	7	17	15	15
	Sommer	9	9	7	8	8	23	18	18
	Herbst	5	8	12	13	12	26	15	9
		28	39	46	42	39	93	63	50

[1]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 145.
[2]) Peterm. Mitteilungen 1889, S. 134.

Tabelle II: **Windstärke.**

Station	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Hamburg	2.5	2.6	3.0	2.5	2.9	3.8	3.0	3.2

Für den Elbewinkel kommen in erster Linie die S-, SW-, W-, NW- und N-Winde in Betracht. Die westlichen Winde, in der Richtung der Gezeitenströme streichend, wirken beschleunigend auf den Flutstrom, hemmend und nach Norden ablenkend auf den Ebbestrom. SW + S, hier wegen der auflandigen Richtung und als Seewinde auf der letzten Strecke wirksamer als an der Südküste, sind ihren Gegnern, den NW + N-Winden, um 54 bzw. 1 überlegen. Infolgedessen muß **der Sandtransport seitens der Winde in nördlicher Richtung sich vollziehen.**

Über den Grad der Ablenkungen, welche die verschiedenen Winde nach Richtung und Stärke bei den Gezeitenströmen hervorrufen, belehrt folgende Tabelle, die auf Grund von Beobachtungen, die auf dem wegen seiner exponierten Lage für diesen Zweck besonders geeigneten Elbe-Feuerschiff II gemacht wurden und im Mittel wiedergegeben sind, aufgestellt wurde.[1])

Gruppe	Windrichtungen	Flutstrom		Ebbestrom	
		Richtung	Geschwindigkeit	Richtung	Geschwindigkeit
I	Beobachtungen, welche bei Windstille und Wind unter Stärke 3 stattfinden . . .	SO$^1/_4$O	1.53	NW$^1/_4$N	2.06
II	Beobachtungen bei WNW bis NNW . .	SO$^1/_4$O	1.38	NW$^1/_2$N	1.83
III	NzW » NNO . . .	SOzS	1.40	NW$^7/_8$W	2.17
IV	» NOzN » NOzO . .	SSO$^5/_4$O	1.49	NW$^3/_4$W	2.44
V	ONO » OzS . . .	SO$^7/_8$O	1.44	NW$^3/_8$W	2.25
VI	OSO SSO . . .	SO$^3/_8$O	1.37	NW$^1/_8$W	2.26
VII	SzO » SSW . . .	SOzO$^1/_2$O	1.60	NW$^7/_8$W	1.77
VIII	SWzS SWzW . .	SOzO$^5/_8$O	1.44	NWzW	1.60
IX	WSW » WzN . . .	SOzO$^5/_8$O	1.59	NNW$^7/_8$W	1.55

Die Beobachtungen sind je nach Windrichtung und Stärke in neun Gruppen eingeteilt. Als Grundlage, von der ausgegangen wird, dient die mittlere Richtung **des Flut- und Ebbestroms; sie beträgt**

für den Flutstrom . . . . SO$^1/_4$O,
» Ebbestrom . . . . NW$^1/_4$N.

Die Angaben für Flut- und Ebbestrom sind die Mittel aus sämtlichen, zu je einer Gezeitenströmung jeder Gruppe gehörenden Beobachtungen. Wenn wir uns hier auch genauer mathematischer Erörterungen enthalten müssen, so dürfte doch schon bei oberflächlicher Betrachtung soviel aus den Tabellen hervorgehen, daß konträre Winde im allgemeinen hemmend, solche von gleicher Richtung fördernd auf die Geschwindigkeit, seitliche ablenkend auf die Richtung einwirken. So fällt besonders die Ablenkung der Gezeitenströme durch die überwiegenden S + SW-Winde nach Norden ins Auge. Freilich tritt die Einwirkung der Winde auf die Geschwindigkeiten nicht so klar zutage: so müßte der Flutstrom bei II, VIII, IX, der Ebbestrom bei I, VI, VII größere Geschwindigkeit, der Ebbestrom bei III, IV geringere Geschwindigkeit zeigen, Abnormitäten, die sich wohl durch die Einwirkung verschiedener Faktoren, die so mancherlei verwickelte Komplikationen herbeiführen, erklären lassen. Diese Faktoren sind: Konfiguration des Grundes (vor allem die Einwirkung der vorgelagerten Bänke), der Tidenhub, der Wasserstand des Flusses, der Wasserstau und der Umstand, ob die Winde sich ungestört entwickeln können oder durch Landmassen gehindert werden.

[1]) Segelhandbuch 1906, I. 3. S. 148. 149.

Aus der Tabelle dürfte im übrigen klar hervorgehen, daß die Gezeitenströme in ihrem Bestreben, den Sand nordwärts zu verfrachten, am Winde einen in gleicher Weise wirkenden Bundesgenossen haben.

Ein sehr günstiger Umstand für den Sandtransport nach Norden ist nicht nur die zweckdienliche Richtung des Ebbestromes, sondern auch vor allen Dingen die aus obiger Tabelle hervorgehende nicht unbeträchtliche Geschwindigkeit, die beispielsweise beim Elbfeuerschiff I im Maximum für den Flutstrom 3.2, für den Ebbestrom 3.8, beim Feuerschiff III 4.5 bzw. 5.5, beim Feuerschiff IV 4.0 bzw. 3.7, beim Feuerschiff V 3.8 bzw. 4.8 beträgt. Nun beziehen sich aber jene angegebenen Werte nur auf das Oberflächenwasser. Für die Elbe stehen uns bedauerlicherweise jedoch keine Beobachtungen über Tiefengeschwindigkeiten zur Verfügung. Bringen wir einmal vergleichsweise die bei dem Leuchtschiff Genius Bank in der Jade gefundenen Verlustwerte, die für den Ebbestrom in der Tiefe rund 21 %, für den Flutstrom rund 11 % betragen, bei den Berechnungen für die Elbe in Ansatz und stellen die beim Elbe-Feuerschiff II gefundenen Mittelwerte, die für den Flutstrom mit 1.53 Sm in der Stunde oder 79 cm in der Sekunde und für den Ebbestrom mit 2.06 Sm bzw. 106 cm angegeben sind (1 Sm = 1852 m) in Rechnung, so belaufen sich die Geschwindigkeiten in der Elbe für die Flutströmung bei 11 % Verlust in der Tiefe auf 70 cm, für die Ebbeströmung mit 21 % Einbuße auf 84 cm. Also:

An der Oberfläche:			In der Tiefe:		
	Flut	Ebbe		Flut	Ebbe
In der Jade	111 cm	117 cm	In der Jade	99 cm	92 cm
Elbe	79	106	Elbe	70	84

Dieser Vergleich zeigt, wenn er überhaupt zulässig ist, daß das Verhältnis bei der Elbe ein geradezu umgekehrtes ist: der Differenz von — 7 cm in der Jade steht hier eine von + 14 cm gegenüber. Was mag die Ursache dieser Erscheinung sein? Ist es der größere Wasserreichtum der Elbe, oder sind andere komplizierte Verhältnisse maßgebend? Wir müssen die Frage leider offen lassen, da die Grundbedingungen, die eine Lösung ermöglichen, noch nicht genügend aufgeklärt sind. Vorbedingungen wären u. a. genaue Messungen an verschiedenen Stellen und in den verschiedenen Stromphasen, und zwar übers ganze Jahr verteilt.

Wenn wir aber die bei der Genius Bank ermittelten Werte, die im Mittel für den Flutstrom 2.2, für den Ebbestrom 2.3, im Maximum nur 2.7 bzw. 3.0 betragen, mit denen der Elbe, die im Mittel auf 1.53 bzw. 2.06, im Maximum aber auf 3.9 bzw. 4.5 berechnet sind, in Parallele stellen, so dürfte obige Untersuchung wenigstens zu der Annahme berechtigen, daß der Ebbestrom, den wir als den Transporteur des Sandes in schräg rechtsseitiger Richtung kennen lernten, in der Elbe wahrscheinlich sehr große Werte in der Tiefe entfaltet und im Dienste der Sandverfrachtung nordwärts ein nicht zu unterschätzender Faktor ist. —

Da nun sowohl der Wind, als auch beide Gezeitenströme bezüglich des Sandtransports in nördlicher Richtung sich zur Seite stehen, so müssen sich nordwärts der Elbemündung Sedimentansammlungen bemerkbar machen, was auch die Seekarten bestätigen. Ein Blick auf die Karte genügt, um uns davon zu überzeugen: eine lange Reihe ausgedehnter, aus Treibsand bestehender Sandbänke[1]) breitet sich hier aus:

1. der Große Vogelsand. Er hat sich in den letzten Jahren sehr verflacht; [2]) bei westlichen bis nördlichen Winden steht auf ihm sehr hohe Brandung.

[1]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 203 bis 205.
[2]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 199.

Wegen des überaus beweglichen feinen, grauen Sandes, der gestrandeten Schiffen so gefährlich ist, indem er sie in sehr kurzer Zeit einwellt, ist er großen Veränderungen nach Höhe und Lage unterworfen. Ein mächtiger Ausläufer, der Steert, erstreckt sich weit in See hinein; der Übergang von der Tiefe mit ihrem dunkelblauen Schlick zu ihm führt über sandigen Schlickgrund.[1]) Ebenso bestehen die übrigen nördlich der Elbe liegenden Sände 2. der Gelb Sand, 3. der Spitz Sand, 4. der Kratz Sand, 5. der Medem Sand aus Treibsand und sind dauernd veränderlich. Auch des flüchtigen Mittel Grundes möge hier noch gedacht werden. Er verdankt seine Entstehung wahrscheinlich den östlich von Neuwerk über das Watt von Süden her in die Elbe geschlemmten, der südlichen Sandtrift entstammenden Massen, die von den beiden Gezeitenströmungen aufgeschichtet wurden, die sie nicht zu bewältigen vermochten, sondern ihnen gewissermaßen in der neutralen Zone zwischen den verschiedenen Streichbahnen des Flut- und Ebbestromes den Platz anwiesen.

Es dürfte somit festgestellt sein, daß der Sand auch durch die Elbe hindurch verfrachtet wird. — —

Die Sandbankwanderung an der schleswig-holsteinischen Küste.

Betrachten wir zunächst wieder 1. die Gezeitenströmungen. Die von Krümmel entworfene Gezeitenkarte in der Nordsee[2]) zeigt ein außerordentlich krauses und augenverwirrendes Netz von sich kreuzenden Flutwellen, namentlich in der deutschen Bucht und hier wieder besonders an der schleswig-holsteinischen Küste. In großen Zügen haben wir bereits festgestellt, daß die Flutwelle in der Helgoländer Bucht etwa eine OSO-Richtung hat und daß die Fluterscheinungen nördlich von Hornsriff fast ganz erlöschen. Unserer Untersuchung können diese knappen Angaben jedoch nicht genügen; es sei deshalb auf die nachstehende, nach den Angaben des Segelhandbuchs[3]) zusammengestellte Tabelle verwiesen:

	Station	Flut	Ebbe	Tidenhub m
1	NO vom Feuerschiff Eider	OSO	WNW	
2	Im Hormmer Loch	S	N	3.0
3	Lister Tief	N	S	2.0
4	Bei Horns Riff Feuerschiff	SSO	NW⁄N	1.6
5	Am Graa Tief	SzO	NW⁄N	
6	Bei Feuerschiff Vyl	OSO	WNW	
7	Blaavands Huk	SO	NW	1.0
8	Außerhalb Sönderving	N	S	1.0
9	Zwischen Nyminde und Sönder Syngvig	S	N	0.9
10	Von Thorsminde Söndervig	N	S	0.6 / 0.6—0.9
11	Thyborön-Kanal bis Thorsminde	N	S	0.8
12	Vor Thorsminde	N	S	0.3
13	Von Vorupör Thyborön-Kanal	N	S	

Bezüglich der Gezeitenrichtungen bestätigt sie, daß von der Elbe bis Blaavands Huk, also im deutschen Anteil, der Flutstrom im allgemeinen eine OSO-Richtung hat, der Ebbestrom eine umgekehrte. Darauf folgt ein gewisses Schwanken, bis schließlich dann auffälligerweise ein nach Norden setzender Flut- und ein nach Süden laufender Ebbestrom erkennbar werden. Diese Änderung des Stromstrichs ist nach den Beobachtungen des Korvetten-Kapitäns Holzhauer darauf zurückzuführen, daß sich etwa 85 Sm westlich von Westerland auf Sylt die aus der Silbergrube kommende schottische und die Flaira-Welle (so genannt nach der zwischen den Orkney und Shetland Inseln liegenden Faira Insel) durchkreuzen. Die östlich laufende schottische Welle scheint dabei nicht aus der Strom-

[1]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 203.
[2]) O. Krümmel, Die deutschen Meere usw. Veröffentlichung d. Inst. f. Meeresk., Heft 6, 1904, S. 20.
[3]) Segelhandbuch 1906, I, 3, Absch. 3 u. 4.

richtung verdrängt zu werden, sondern geht vertikal auf die Insel Sylt zu, wo nach Holzhauer etwa 4 Sm vor der Küste die erwähnte Gabelung sich vollzieht. Die nach Süden laufende Welle setzt nun als selbständiger Arm um die Südspitze von Sylt herum. Die nach Norden gerichtete Flutwelle scheint sich jedoch wieder zu teilen: ein Seitenarm dringt um das Nordende nach Osten, während der Hauptarm sich nördlich fortsetzt und neben Jütland die Nord—Süd gerichtete Gezeitenströmung hervorruft.

Ferner lehrt uns die Tabelle, daß die Ebbe- und Flutströmungen nach Norden zu an Intensität abnehmen. Dies sieht man zunächst am Tidenhub.[1]) Derselbe beträgt noch an der Elbe 3.1 m, an der Hever im Mittel 3.0 m, am Alten Schmaltief 2.8 m, am Lister Tief 1.6 m,[2]) um dann an der jütischen Küste von 1.6 m bei Blaavands Huk auf 0.3 bei Hanstholm zusammenzuschrumpfen. Ein weiteres Zeichen der Schwäche im nördlichen Teile ist, daß dort nicht selten die durch die Winde erregten Ströme das Übergewicht haben über die Gezeitenströme, was namentlich bei westlichen Winden der Fall ist. So können Ebbe und Flut in der Mitte der jütischen Halbinsel zwischen Thyborön-Kanal und Thorsminde nicht einmal den von einer steifen Brise erregten Strom überwinden, sondern nur verringern.[3])

Wir sehen also, daß die Flutströmung bei dem für uns in Betracht kommenden deutschen Anteil unter einem spitzen Winkel in der Richtung aus Nordwest die Küste trifft und daß der Tidenhub nach Süden hin zunimmt.

Welche Richtung haben 2. **die überwiegenden Winde?** Die untenstehende Windtabelle (S. 45) zeigt auf den ersten Blick das gewaltige Übergewicht der westlichen Winde, sowohl was Häufigkeit als auch Stärke anbetrifft. Nach Tabelle I stehen an erster Stelle die NW-, an 2. die SW- und an 3. die W-Winde, nach Tabelle II an 1. die SW-, an 2. die NW- und an 3. die W-Winde. Ihr Einfluß wird sich, zumal wegen der großen Überlegenheit des NW-Windes, dahin geltend machen, daß sie den Flutstrom beschleunigen und den Ebbestrom hemmen, daneben aber an der Küste einen Wasserstau hervorrufen. Das beweisen die Angaben des Segelhandbuchs. Von Horns Riff heißt es: W- und NW-Winde verursachen längere und stärkere Flut und höheren Wasserstand; bei anhaltenden Ostwinden ist es umgekehrt. Von dem Hörnumer Loch und dem Lister Tief wird gesagt: W-Winde, namentlich NW-Winde, bewirken Aufstauen und Erhöhung des Wasserspiegels, östliche Senkung. — Diese westlichen und nordwestlichen Winde rufen auch meistens die höchsten Werte in bezug auf die Wellenbewegung hervor. So berichtet das Segelhandbuch (1906), daß bei starken W- und NW-Winden zur Ebbezeit vor dem Lister Tief hohe Dünung steht, ferner, daß bei diesen Stürmen auf den Sänden im SW von Eiderstedt hohe Brandung wütet, aus welchem Grunde die am weitesten vorgeschobene Fliegen Plate die gefährlichste ist, endlich, daß auf der Barre der Eider zur Ebbezeit bei W-Winden sehr kurze hohe See und bei W- und NW-Stürmen gefährliche Brandung steht. Ebenso darf wegen der enormen Überlegenheit der aus den westlichen Quadranten kommenden, auflandigen Winde mit einem sehr starken Sandtransport aus See an die Küste gerechnet werden. —

Für unsere Untersuchung ist es nun von höchster Bedeutung, in welcher Richtung sich die Sandverfrachtung, für die ja die Gezeitenströme und Winde in Frage kommen, vollzieht. Von letzteren sind nur die NNW-, NW-, WNW- und N-Winde einerseits, die WSW-, SW-, SSW- und S-Winde anderseits ausschlaggebend. Erstere haben dabei nach Tabelle I ein Mehr von 8, nach Tabelle II eins von 0.3 Einheiten, wonach sich also das Übergewicht der Sandwanderung nach Süden hinneigt. Schwieriger gestaltet sich die Erörterung bezüglich der Gezeitenströme. An der Südküste haben wir festgestellt, daß die Sandumlagerung seitens dieser Ströme nach von der Richtung des Flutstromes

[1]) Vgl. »Atlas der Gezeiten usw.«, herausgegeben von der Deutschen Seewarte. S. 2 des Vorwortes.

[2]) Das Segelhandbuch gibt 2.0 m an.

[3]) Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 57.

aus gerechnet — der linken Seite hin erfolgt, und zwar bezüglich des Flutstromes teils infolge seiner Richtung, teils infolge Vergrößerung seiner Erosionskraft rechter Hand, wodurch die Massen linksseitig fortgestoßen werden, hinsichtlich des Ebbestromes durch direkte Unterstützung des Sandtransports in schräg rechtsseitiger Richtung. An der Ostküste liegen die Verhältnisse jedoch wesentlich anders. Denn hier entbehrt der Flutstrom zunächst neben der Küste das die Erosionskraft vergrößernde Moment, das ihm die Eigenschaft verleiht, den Sand linksseitig, also hier zum Lande hin, fortzustoßen, nicht nur gänzlich, sondern umgekehrt wird er infolge der Erdrotation geradezu von der Küste abgelenkt, wodurch dem Sandtransport in südlicher Richtung direkt Vorschub geleistet wird. Bei seinem Eintritt in die Gaten ist die Sachlage kaum etwas günstiger. Denn während er an der Südküste rechtsseitig vom Festland, von festgefügten, widerstandsfähigen Kontinentalmassen flankiert wird, erfreut er sich im Osten bestenfalls lose aufgebauter, schwimmbeflissener Sandmengen, die nicht hinreichenden Halt bieten. Und wo die Einwirkung dieses Moments sich zeigt, bedeutet sie einerseits keine Förderung der Sandwanderung nach Süden, sondern mehr ein Abfangen der Sedimente; anderseits dürften die südlich der Gaten befindlichen Bankzungen, die aus beweglichem Material bestehen, sehr stark angegriffen und nach Süden hin umgelagert werden. In den Gaten selber ist die Sachlage eine etwas günstigere, jedoch der Art, daß die erhöhte Erosionskraft dem Windstrom wiederum entgegenwirkt. Dahingegen bleibt die seitens des Ebbestromes unter dem Einfluß der Ablenkung bewirkte Verfrachtung in schräg nördlich gerichteter Linie in ihrem ganzen Umfange bestehen, wird aber gegenüber den machtvollen Gegnern, der Flut- und Windsanddrift, als der entschieden unterlegene Teil zu betrachten sein. Er kann das Tempo der Wanderung höchstens verlangsamen.

Tabelle I.[1] **Häufigkeit der Winde.**

Windtabelle für Keitum.

Monat	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Stille
November 1909	8	10	16	4	1	1	0	3	6	7	9	3	6	3	8	3	2
Dezember	2	1	3	0	5	7	12	6	14	14	10	4	5	2	6	1	1
Januar 1910	0	3	5	3	4	1	5	0	2	8	21	10	9	9	10	2	1
Februar	4	1	0	0	0	1	6	11	12	12	15	15	1	1	3	3	0
März	11	3	1	2	3	1	8	5	6	5	7	11	8	4	11	7	0
April »	2	6	3	3	4	3	6	2	6	1	12	4	11	5	20	1	1
Mai »	5	1	3	3	18	14	8	0	1	2	5	6	7	1	10	6	0
Juni »	4	1	3	2	15	10	7	2	2	2	1	8	11	1	8	10	0
Juli »	10	3	1	3	3	2	11	1	1	3	6	7	10	5	20	7	0
August »	6	0	5	3	1	2	1	4	5	3	6	3	17	14	15	1	1
September »	13	3	19	6	6	0	1	1	1	3	2	0	2	2	16	9	3
Oktober »	1	1	2	4	10	11	18	3	10	1	7	6	0	1	9	1	2
Jahressumme . .	66	36	61	33	70	53	86	38	69	61	101	77	87	57	136	57	11

Tabelle II. **Windstärke.**

	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Jahresmittel . .	2.7	2.7	2.8	2.7	2.3	3.5	3.2	3.4

Der Tabelle II liegt die Beaufortsche Skala zugrunde.[2]

Es dürfte somit keinem Zweifel unterliegen, daß auf der Höhe von Schleswig-Holstein die Sandwanderung in südlicher Richtung sich vollziehen muß.

[1] Ist den Annalen der Hydrographie, Jahrgang 1909 u. 1910 entnommen.
[2] Segelhandbuch 1903, I, 1, S. 25.

Wenn wir nun die an der Südküste gemachte Wahrnehmung, nach der die Sand- und Bankwanderung dieselbe Richtung zeigen, als feststehende Regel auffassen dürfen, so müßten die Bänke der Ostküste dieselbe Wanderrichtung nach Süden zeigen.

Betrachten wir jedoch auf diesen Punkt hin zunächst wieder die Inseln mit ihren Dünen. Die Untersuchungen Beyers[1]) haben ergeben, daß die Wanderung der Sylter Dünen nach Osten hin stattfindet, also in der Diagonale der beiden mächtigsten Winde, der NW- und SW-Winde, und in der Streichrichtung der W-Winde. Ebenso berichtet R. Hansen[2]) von einer Wanderung der Dünen vor mehreren Jahrhunderten nach Osten, die Landverlust zur Folge gehabt habe. Auch Traeger[3]) schreibt, daß der Sand von den Außensänden nach Osten verfrachtet würde. Der Trischen jedoch ist nach Hansen[4]) in der Richtung NNW—SSO gewachsen. Wir sehen also überall eine beharrliche Dünenwanderung in etwa östlicher Richtung.

Ähnlicher Art ist die Wirkung der Meereskräfte auf die Inseln. Die Karte des Generalmajors Franz Geers, der zwei unter demselben Maßstab (1 : 120000) gezeichnete Karten von 1648 und 1878 übereinanderlegte, zeigt, daß Sylt in dieser Zeitperiode an der West- und Ostküste starke Einbuße erlitten, dahingegen an beiden Enden zugenommen hat.[5]) Der nordfriesische Chronist und unermüdliche Sammler Hansen in Keitum († 1879) berichtet,[6]) daß die schreckliche Sturmflut vom 4. Februar 1825 am West-Strande von Sylt stellenweise Schollen von 100 bis 160 Fuß Breite fortgespült habe. Nach Beyer[7]) büßte die Gegend des »Roten Kliffs« während eines achttägigen Sturmes im Jahre 1839 ein mehr als 40 Fuß breites Stück ein. Welchen Umfang die Abbrüche und Anlandungen auch noch in neuerer Zeit annehmen, lehrt eine Karte, die auf Grund sorgfältiger, in den Jahren 1878 und 1896 seitens des Düneninspektors und Landvogts Hübbe in Keitum auf Sylt ausgeführter Messungen von Beyer gezeichnet wurde.[8]) Wir finden auch hier denselben Vorgang, den wir bei Wangeroog kennen lernten: Abbrüche am W-Ufer und hakenförmige Anbaue an den Enden. Sehr starke Schlickablagerungen vollziehen sich nach Beyer[9]) am O-Strand, im Winkel zwischen der in der Mitte nach Osten vorspringenden Halbinsel und der Insel selbst, bei Keitum. Nach Traeger[10]) sind Süderoog und Südfall, die bei ihm in Verdacht stehen, daß ihre Entstehung eine ganz andere ist, als diejenige ihrer nördlichen Schwestern, nicht Überbleibsel untergegangener Urmarschen, sondern als ganz selbständige Schwemminseln in der Richtung der gewaltigen Hever von SW nach NO an ihre jetzigen Standorte gewandert. (Traeger.) »Was sie auf der exponierten Seite einbüßen, setzt sich im Stromschatten wieder an, und darum haben sie seit langen Jahrhunderten als selbständige Inseln existiert. Daß sie sich mit solcher Ausdauer gegen die Angriffe der See behaupten konnten, ohne wohl jemals beträchtlich größer gewesen zu sein als heute, würde in dieser Entstehungsursache seine Erklärung finden, des weiteren aber in der Tatsache ihrer Höhenlage, die so bedeutend ist, daß in der ungeheuren Flut von 1825 das Wasser auf beiden Halligen nur die Schwellen der Türen bespült hat.« Lehrreich ist auch die Karte, die Jensen[11]) seinem Buche beifügte. Bei derselben hat er drei verschiedene Alterskarten: 1634, 1648 und 1891 übereinander gelegt. Auf diese Weise können wir folgende Veränderungen bemerken.

[1]) A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1904, S. 7.
[2]) Petermanns Mitteilungen 1893, S. 177.
[3]) E. Traeger, Die Halligen der Nordsee. In »Forschungen zur dtsch. Landes- u. Volkskunde« v. A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 304.
[4]) Petermanns Mitteilungen 1905, S. 73.
[5]) A. Beyer, Umlagerungen usw., im Anhang.
[6]) Die nordfriesische Insel Sylt, wie sie war und wie sie ist, Leipzig 1859, S. 8.
[7]) A. Beyer, Umlagerungen usw., S. 11.
[8]) Ebenda, im Anhang.
Ebenda, S. 34.
[9]) E. Traeger, Die Rettung der Halligen, 1900, S. 38.
[11]) Christian Jensen, Die Nordfriesischen Inseln Sylt, Föhr, Amrum usw., Hamburg 1891.

Inseln	Abbrüche	Anlandungen	Inseln	Abbrüche	Anlandungen
Sylt	W .	O	Oland . . .	W, N, S (sehr stark)	
Jordsand .	Allseitig	–	Appelland . .	NW	
Amrum . . .	NW (stark)	O	Gröde . . .	NW ( )	
Föhr . . .	N, NW, S		Habel . . .	Allseitig	
Nordmarsch .	W, NW, SW (stark)		Südfall . . .	W, NW ( )	SO, NO
Langeness . .	NO, SO		Norderoog . .	S, NW	
Hooge . . .	N (stark)		Süderoog . .	NW, SW	

Obige Tabelle zeigt mit unzweideutiger Klarheit, daß die meisten Abbrüche durchweg im NW sich vollzogen haben. Kleinere Abweichungen, auf deren Erörterung näher einzugehen, wir uns hier versagen müssen, dürften in der Regel auf besondere örtliche Verhältnisse zurückzuführen sein. Die Leitlinie der Inselwanderung zeigt also von NW nach SO.

Ob nun auch bei den Sandbänken diese Wanderungsrichtung vorherrscht? Erinnern wir uns bei dieser Eröterung vorerst wieder jener Charakteristika, die wir als Begleiterscheinungen an der Südküste kennen gelernt haben:

1. Steilufer rechter Hand,[1]) flaches zur Linken,
2. Richtung der Flußmündungen dem Flutstrom entgegen,
3. Periodische Unterbindung und Verlegung der Fahrwasser.

Freilich sucht hier das Auge größere Flüsse vergeblich; steht doch der bedeutendste, die Eider, sehr wesentlich hinter der Ems zurück. Dennoch aber haben alle einen mächtigen Mündungstrichter, so die Miele, Eider, Arl Au, Lecker Au, Wied Au. Ihnen zur Seite tritt eine große Anzahl von Gaten mit weitverzweigten Prielensystemen, die jenen oft in keiner Weise nachstehen. Ihre Mächtigkeit liegt in der Größe der sie umgebenden Watten begründet, ähnlich wie bei der Jade, die ihre Tiefenverhältnisse nicht dem in sie sich ergießenden spärlichen Süßwasser, sondern vielmehr dem großen Wattenareal verdankt, das durch die Gezeitenströme gespeist und geleert wird.

Betrachten wir die Gaten zunächst in bezug auf die Punkte 1 und 2 der Charakteristika, worüber uns nebenstehende, an der Hand der Seekarten Nr. 70 und 61 aufgestellte Tabelle Auskunft gibt. Oberflächlich betrachtet, scheint uns die Tabelle ganz und gar unbefriedigt zu lassen; denn weitaus die meisten Mündungstrichter haben in gesetzwidriger Weise beiderseits einen steilen Abfall.

Steiler Abfall im S, flacher Abfall im N	Flacher Abfall im S, steiler Abfall im N	Steiler Abfall im S und N	Flacher Abfall im S und N	Bemerkungen
Norder Elbe				
Falsches Tief			–	
Süder Piep				Unterlauf im S sehr steil. Oberlauf im N steiler.
		Norder Piep		Mittellauf, N steiler als S.
			Dove tief Faden	S steiler als N.
–	–	Eider		Durchweg steil. Sehr gewunden. Viele Rinnen. Bald die eine, bald die andere steiler. N steiler.
–		Süder Hever		N steiler.
		Mittel Hever		N steiler.
–		Alte Hever		N steiler.
–	–	Norder Hever		S steiler.
–	Altes Schmal Tief			O sehr flach.
–	Schmal Tief			N sehr steil

[1]) In der Richtung des Flutstromes schwimmend.

		Steiler Abfall im S und N	Flacher Abfall im S und N	Bemerkungen
	Ruter Gatt			N sehr steil, stellenweise auch S steil.
	Rantumer Tief			Vielfach an beiden Seiten flach. Oberlauf verwildert.
Süder Aue				Unterlauf sehr stark verwildert. S steiler.
		Norder Aue		Meist an beiden Seiten. S stärker.
		Land Tief		
		Vortrapp Tief		Etwas stärker im N.
		Jungmanen Loch		
			Hornum Loch	Unbedeutendes Gatt.
		Hornum Tief		Stellenweise steil.
			Eidum Tief	Unbedeutendes Gatt.
			Rantum Lohe	Unbedeutendes Gatt.
Lister Tief				Oberlauf beide Seiten steil
		Hoyer Tief		N steiler.
		Lister Ley		O steiler.
		Wester Ley		
		Pander Tief		
		Römer Tief		N steiler.
		Juvrer Tief		S im allgemeinen steiler als im N.

Außerdem zeigen die Karten, daß sie dem Flutstrom nicht nur nicht hingeneigt, sondern geradezu abgeneigt sind. Auf diesen letzten Punkt macht Krümmel[1]) aufmerksam, indem er schreibt: »Die Gaten südlich Sylt öffnen sich fast alle in einer Richtung konvergierend auf Helgoland zu (Dtsch. Adm-Krt. 70 und 61), wofür eine Erklärung zu geben ich vorerst außerstande bin.« Diese beiden Abnormitäten sind in der Tat auffällig. Ferner ebenfalls, daß die südlichen Gaten nördlich der Elbe im allgemeinen barrenfrei sind, so daß die trennenden Bänke gleich freihängenden Fransen sich ins Meer hinein erstrecken, während die andern unter sehr starker Barrenbildung leiden.

Was kann die Ursache dieser Abnormitäten sein? Wenn wir die an der Südküste zwischen den ostfriesischen Inseln sich durchzwängenden Gaten daraufhin betrachten, so sind auch bei ihnen dieselben Merkmale, wenn auch wegen der örtlichen Beschränktheit nur in schwächerem Maße, hie und da nicht zu verkennen. Die sowohl an der Ost- als auch an der Südküste anzutreffenden beiderseitigen Steilabfälle dürften in den Engen, die ihnen zwischen den Inseln gelassen werden, und in der großen Wassermasse, die mit großer Gewalt aus- und einflutet, eine Erklärung finden; denn je enger das Bett und je größer die Wassermenge, desto größer die Erosionskraft. (Siehe S. 21ff.) — Aber woher das regelwidrige Abbiegen der äußersten Öffnung von der Richtung des Flutstromes ab? Auffälligerweise findet man nun an der Südküste namentlich westlich vom Mündungsmund der Gaten oft zu Watthöhe aufgeschichtete bedeutende Bankkomplexe (cf. Admiralitäts-Karte 64), eine Erscheinung, die, was die Gezeitenströme anbetrifft, wiederum von der Regel abweicht, nach der die Hauptablagerungsplätze im Osten von den Wasserrinnen sich befinden müssen. Meines Erachtens läßt sich die Erscheinung so erklären: die Sandanhäufungen können nur durch den sedimentreichen Küsten- und Gezeitenstrom herangefrachtet und infolge Zusammentreffens der verschiedenen Strömungen niedergeschlagen worden sein. Das mögen folgende Skizzen (Fig. 6) veranschaulichen. Sie zeigen, daß beim Einsetzen des Flutstromes in die Gaten (Skizze 6a) infolge Begegnung mit dem Ebbe- und Windstrom[2]), ferner zur Ebbezeit infolge Kreuzung des Ebbe- und Windstromes (Skizze 6b) ein sediment-

[1]) Petermanns Mitteilungen 1889, S. 136.
[2]) Vorausgesetzt natürlich, daß zur Zeit westliche Winde wehen.

absetzender, mehr westseits gelegener Stillstand erfolgen muß. Diese hier niedergelassenen Massen, denen durch die Agentien der Wandertrieb nach Osten innewohnt, schieben sich so weit als möglich in den Mündungsmund hinein, so daß dieser dadurch vielfach nach Osten hin herumgebogen wird, wie das Norderneyer Seegatt durch die Robben Plate und den Nord-West Grund, die Wichter Ehe westlich von Baltrum durch die Othello Plate, die Ackumer Ehe westlich von Langeoog durch die Robben Plate und das Wester Riff. Die Umbiegung dürfte noch stärker sein, wenn nicht der um die NO-Ecke der Bänke setzende Flutstrom diese stark benagen und den Gatenmund nach Westen hin herumzuzerren bestrebt sein würde.

Fig. 6a.
Bei eintretender Flut.

Fig. 6b.
Zur Ebbezeit.

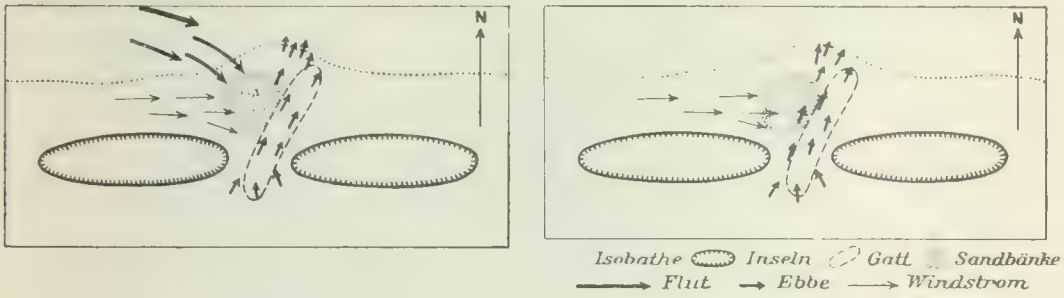
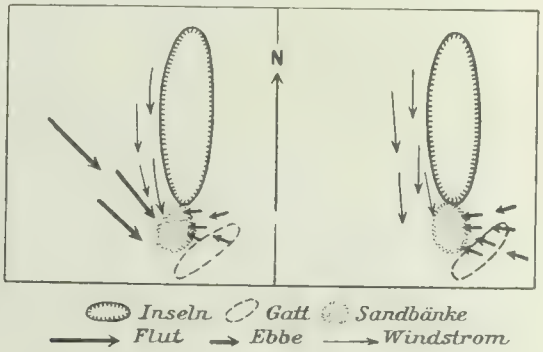


Fig. 7.
Bei eintretender Flut. Zur Ebbezeit.



Dürfen wir nun diese beobachteten Tatsachen auch auf die Verhältnisse des schleswig-holsteinischen Archipels anwenden? Die Konfiguration der Küste, die schräg zu Lande setzende Richtung des Flut- und Windstromes, der Sedimentreichtum derselben lassen den Vergleich schon von vornherein voll und ganz gerechtfertigt erscheinen. Das Ineinandergreifen der Strömungen möge folgende Skizze (Fig. 7) veranschaulichen. Sie zeigt, daß zur Flutzeit der Flut-, Wind- und Ebbestrom, zur Ebbeperiode der Ebbe- und Windstrom im Südsüdwesten der Insel sich begegnen, ein Prozeß, der sich also fast ohne auszusetzen abspielt. Die südlich der Inseln auf diese Weise nach und nach sich so mächtig vorbauenden Sände zwingen mithin die Hauptwelle des Flut- und Ebbestromes, in weitem Bogen nach Süden um jene auszuholen, um den Eingang in die Gaten zu gewinnen.

Ich glaube deshalb die Konvergation der Gaten südlich von Sylt auf Helgoland zu auf jene Erscheinungen zurückführen zu dürfen. Die Gaten nördlich der Elbemündung stehen unter dem Einfluß der ungleich größere Stoßkraft besitzenden Ebbeströmung aus der Elbe, die die Richtungsachse nach eigenem Ermessen festzulegen und die Barrenbildung erfolgreicher zu unterbinden befähigt ist. –

Ist nun obige Hypothese richtig, so müssen diese Vorgänge einen andern auslösen, nämlich den (Punkt 3)[1]), daß der Mündungsmund, nachdem er eine längere Periode hindurch ständig nach Süden verlegt wurde, nach Norden überspringt, wo er sich eine neue Gasse bahnt. So springen z. B. an der Südküste die Alte Jade und die beiden Weserarme nach etwa 60jährigen Zwischenräumen[2]) in ihr altes wieder ausgeräumtes Bett zurück. Vorrichtig eines solchen periodischen Wechsels sind an unsern Küsten mit den ewig sich in Bewegung befindlichen Sandmassen alle Flußsysteme, bei denen uns die Ausdrücke »Alter« und »Neuer« Lauf begegnen. Diese Bezeichnungen treffen wir nun auch im nordfriesischen Archipel: Norder Elbe, Norder und Süder Piep, Süder, Mittel, Alte und Norder Hever, Altes Schmal Tief, Süder und Norder Aue. Der Vergleich alter und neuer Seekarten kann uns volle Klarheit geben.

Es standen mir für diesen Küstenstrich folgende, der Berliner Universitäts-Bibliothek entliehene, im Maßstabe 1:100 000 gezeichnete Seekarten zur Verfügung.

A). für die Strecke von der deutsch-dänischen Grenze bis zum Vortrapp Tief:

	Nr	Herausgegeben:	Berichtigt:
1.	70	**1880.**	—
2.	«	1898.	12. III. 1901.
3.	—	1898.	22. I. 1910.

B) für die Strecke Land Tief bis zur Elbemündung:

	Nr	Herausgegeben:	Berichtigt:
1.		**1880.**	
2.	61	1890.	6. VI. 1891.
3.	—	1898.	12. III. 1901.
4.	«	1898.	9. IV. 1910.

Bemerkung: Zur Orientierung möge dienen, daß die in nachstehendem angegebenen Jahreszahlen sich auf die fettgedruckten beziehen.

1. Das Lister Tief kann etwa als eins der letzten, noch von einem ziemlich starken Gezeitenstrom bestrichenen Gaten gelten, in das der Flutstrom jedoch von Süden kommend eintritt; denn, wie wir sahen, vollzieht er einige Seemeilen westlich von Westerland eine Gabelung, wobei ein Arm nach Süden streicht und um die Südspitze von Sylt herum landwärts vordringt, während der andere um das Nordende herum ausholt. Das Tief steht deshalb im Vergleich zu den anderen Gaten unter ganz abnormen Verhältnissen; der Flutstrom und die Sanddrift sind konträr, und der Ebbestrom hat gleiche Richtung mit dem Windstrom. Bei ihm bemerken wir der Regel entsprechend ein steiles Süd- und sehr flaches Nordufer. Aber der Flutstrom müßte nun nicht nur an der Nordküste von Sylt, sondern erst recht im Nordwesten der Insel hart am Gestade entlangstreichen. Statt dessen begegnet uns an letzterem Punkte der mächtige, in Dreiecksform in See hineinragende und durch eine schmale Barre mit dem Rüst Sand in Verbindung stehende Salz Sand, den ich als das Ergebnis der durch das Zusammentreffen des am Sylter Strande (von Westerland ab) entlanglaufenden, mit Sedimenten beladenen Flutstromes und des in südlicher Richtung setzenden Ebbe- und Windstromes hervorgerufenen Stauung deuten möchte. Der Flutstrom, der mühsam um den Salz Sand herum ausholt, scheint mithin nicht die nötige Stoßkraft zu besitzen, die Sanddrift erfolgreich bekämpfen zu können, wenngleich auch die Struktur des Salz Sandes — Südabfall flach, Nordabfall steil — die Überlegenheit des Flutstromes verrät. Die Möglichkeit der Verlegung des Mündungsmundes auf dem äußern Bankplateau ist wegen des beschränkten Gebietes, auf dem dieselbe sich vollziehen kann, gering. Das Ergebnis der Untersuchung mittels der drei Karten ist, daß eine sprunghafte Verlegung dem Flutstrom entgegen, also nach Süden, nicht zu konstatieren ist; umgekehrt macht sich eine langsame Verlegung nach Norden bemerkbar, wodurch dem Flutstrom der Eintritt immer mehr erschwert wird. Es dürfte aber der-

[1]) Siehe S. 17.
[2]) Siehe S. 32 bis 36.

selbe, um bildlich zu reden, kaum Neigung verspüren, zu weit nach Norden hin auszuholen, um den Weg ins Tief zu gewinnen, sondern vielmehr darauf bedacht sein, sich möglichst südlich eine neue Gasse zu bahnen. Deshalb möchte ich das Gat der sprunghaften Verlegung zum mindesten für verdächtig erklären. Der Sprung dürfte sich wahrscheinlich schon in den nächsten Jahren vollziehen, wovon jedoch nur der äußere Teil berührt wird, da der Hauptkörper eine gewisse Standhaftigkeit verrät, wenngleich auch auf demselben sich ab und zu Kolke bilden. Fraglich ist dabei jedoch, wo der abgekeilte Teil bleibt, ob er vom Ebbestrom entweder ins Meer zurückgespült wird, um zum Bau der seewärts sich hinziehenden Sandbänke Verwendung zu finden, oder ob er auf Umwegen am Sylter Weststrand nach Süden hin verfrachtet wird, um dann unter der Einwirkung des Flutstromes denselben Weg wieder zu durchmessen.

2. Die Achse des **Vortrapp Tiefs** ist am weitesten nach Süden gerichtet (SzW). Das Tief wird im Westen durch einen Gürtel von Sandbänken eingeengt, während es im Osten von Amrum flankiert wird. Wegen der Kompliziertheit der Strömungsverhältnisse dürfte es angebracht erscheinen, sich dieselben vorerst zu vergegenwärtigen. Der Eintritt sowohl des Flutstromes, der westlich der Südhälfte von Sylt nach Süden und um die Südspitze nach Osten geht, als auch der Austritt des Ebbestroms wird durch die Sandbankreihe, die von Hörnum nach Süden hin sich erstreckt, sehr erschwert. Zwischen den Bänken suchen sie sich mühsam eine Gasse hindurch zu bahnen, was ihnen nur an zwei Stellen einigermaßen gelingt: in dem Hörnum und dem mächtigeren Jungnamen Loch, dem sich eine ungewöhnlich weit nach Westen hin ausgewellte Barre vorlagert, deren Bau in erster Linie dem Ebbestrom zuzuschreiben sein wird. Infolge der Streichrichtung nach Osten bzw. nach Westen kommen die Gezeitenströme der Sanddrift in die Quere, wodurch ein Teil der Massen sich niederschlägt und zur Vergrößerung der Bänke beiträgt, was noch dadurch begünstigt wird, daß der Flutstrom nach Eintritt ins Vortrapp Tief eine nördliche Richtung einzuschlagen gezwungen ist und daß das Ebbewasser, seiner Neigung entsprechend, rechtsseitig durch die engen Gaten zwischen den Bänken zu entweichen sucht. Das Hauptstaugebiet befindet sich naturgemäß in der Mündung des Vortrapp Tiefs, wovon die Mächtigkeit der Barre zeugen dürfte.

Aus dem Vergleich der Karten 1880 und 1901 geht nun hervor, daß die Mündung des Tiefs weit nach Westen hin herumgesprungen ist; 1880 liegt sie noch östlich von 9° 15′, 1901 eine beträchtliche Entfernung westlich, wozu der Ansatz schon 1880 vorhanden ist, von wo ab dann nach und nach ein Bankkomplex nach Osten hin abgekeilt wird, der das 1880er Fahrwasser stark verunreinigt. 1910 finden wir deshalb vor dem neuen Mündungsmund eine besondere Anseglungstonne mit der Bezeichnung: Neu-Vortrapptief. Doch macht sich schon 1910 wiederum eine Verengung des neuen Tiefs bemerkbar. Von Nordwesten her scheint sich am äußersten Rande ein Bankplateau nach Südosten in den Mündungsmund hineinzuschieben, wodurch es denselben bereits eine Strecke nach Osten verdrängt, so daß die Anseglungstonne bald etwas nach Osten verlegt werden muß (Vgl. 1901 und 1910). Auch scheint ein neuer Kanal in Vorbereitung zu sein, der in wenigen Jahren zur Hauptmündung avancieren dürfte. Es scheint sich hier also ein recht schneller Wechsel zu vollziehen.

3. **Rüter Gatt. Schmal Tief und Altes Schmal Tief.** Ersteres wird durch Seesand und die sich westlich anschließenden Sände vom Schmal Tief, dieses durch die Tusch Gründe vom Alten Schmal Tief getrennt. Das Schmal Tief ist das bedeutendere Gatt und meistens barrenfrei; jedoch ist seit 1891 auch das Alte Schmal Tief betonnt. Das Rüter Gatt ist unbetonnt.

Das Rüter Gatt legt den äußersten Teil des Mündungsmundes von 1880 ab (mit Ausnahme von 1891) beständig nach Süden, im allgemeinen auch die sein Ende schützend umlagernde Barre.

Der 1880 von Norden her vor das Schmal Tief sich erstreckende Bankzipfel ist 1891 abgeschnitten und allem Anscheine nach an die westlich an die Tusch Gründe sich anlehnenden Bankmassen südlich vom Schmal Tief angelandet,

die dadurch eine starke Vergrößerung erfahren von S 17 ° bis fast S 15° O Lg. 1901 und sie verklemmert und nach Süden verlegt, ein Zustand, der auch noch 1910 andauert. Gleichzeitig sind die Tusch Gründe langsam, aber ständig etwas nach Südosten verschoben, dadurch das Alte Schmal Tief einengend und etwas nach Osten verschiebend. Die Verdrängung der Fahrwasser findet im allgemeinen auch in der Lage der Tonnen Bestätigung. Ebenso zeigt die Struktur der Bänke die Wanderungsrichtung nach Südosten. Eine sprungweise Zurückverlegung der Gaten nach Nordwesten ist zwar nicht festzustellen; wenn wir aber die Beengung und Verdrängung der Fahrwasser von Nordwesten her zweifellos festgestellt haben, so wird die Stoßkraft der bedrängten Gaten dieser Erschwerung sich zu erwehren suchen durch Angriffe auf das rechtsseitige Hindernis, was sich in dem steilen Abfall der Nordwestseite der Fahrwasser zu erkennen geben dürfte. Da aber trotz alledem die Vorwärtsbewegung der Bänke und Verlegung der Gaten nach Südosten hin während der Zeit von 1880 bis 1910 andauert, so ist schließlich diesem Zustand doch ein Ziel gesetzt. Ob dann nicht doch die Stoßkraft des Wassers durch einen gewaltsamen Eingriff sich eine neue Gasse nordwestwärts bahnen und größere zusammenhängende Bankkomplexe im Westen abtrennen und an den Norderoog Sand und Süderoog Sand anlanden wird? Reicheres, über längere Perioden verteiltes Material wird darüber Licht zu verbreiten imstande sein. Ich glaube deshalb auch diese Gaten einer sprungweisen Verlegung nach Nordwesten für verdächtig erklären zu dürfen.

4. Alte Hever, Mittel Hever, Süder Hever. Für die Schiffahrt kommen hauptsächlich die Mittel und Süder Hever in Betracht; die Alte Hever ist bis 1910, wo sie eine freie Einfahrt hat, unbetonnt. Die beiden südlichen Arme sind durch die Norder Quage voneinander getrennt. Aus dem Vergleich der vier Karten geht hervor, daß alle drei Mündungen sich ständig nach Süden verlegen. Die 1880 zwischen der Alten und Mittel Hever nach Westen hin sich erstreckende Sandbankzunge ist schon 1891 der 6 m-Isobathe des Mittel Hever-Barren- und des Quage-Komplexes einbezogen, der nach allen Seiten hin sich starker Vergrößerung erfreut. Die Norder Quage legt sich langsam nach Süden, besonders zwischen 1901 und 1910, ebenso die Außen Quage, wodurch die Süder Hever beengt wird. Das Profil der Bänke zeigt die Wanderungsrichtung nach Süden. Daß besonders die Alte Hever im Südwesten von Süderoog Sand an Versandung leidet, könnte zunächst auffällig erscheinen, da gerade dieses Gatt dem südsüdöstlich setzenden Flutstrom in erster Linie ausgesetzt ist und deshalb vor den anderen ausgehobelt sein müßte; das Gegenteil dürfte meines Erachtens seine Erklärung darin finden, daß die Driftmassen in Anbetracht der Fahrwasserverlegungen der nördlich angrenzenden Gaten in südöstlicher Richtung am Süderoog Sand entlangstreichen und sich zunächst in das Bett der Alten Hever werfen. Der Flutstrom scheint die Mengen nicht bewältigen zu können und der Ebbestrom die Schwierigkeit nur zu vergrößern. Von dem Widerstreit dürfte die unregelmäßige Art der Aufschichtung und Gestaltung dieser Bänke zeugen. — Im Gegensatz zu den vorhin besprochenen Gaten richtet die Hever ihre äußeren Mündungen mehr nach Westen, was auf den Umstand zurückgeführt werden dürfte, daß hier im westlich vorgerückten peripherischen Gebiet, wo die Driftmassen nicht so stark auftreten als mehr landwärts nach der Gabelung zu, die Gezeiten, ihrer Eigenart entsprechend, wirksamer sein können. — Eine sprungweise Verlegung ist zwar nicht zu konstatieren; allein, da alle drei Mündungen während der dreißig Jahre sich nach Süden verlegen, so dürfen wir auch hier den Verdacht des Zurückspringens für berechtigt halten.

5. Norder Eider, Mittel Eider, Alte Süder Eider. Auch die Eider besteht aus drei Armen. In ihrem Streichgebiet liegen die Wester Plate, die Große Fliegen Plate und die Kleine Fliegen Plate. Die drei Arme werden nur 1880 mit Namen aufgeführt. Die Norder Eider kommt für die Schiffahrt nicht in Frage. Die Verlegung der Platen tut sich schon dadurch kund, daß von den beiden südlichen Fahrwassern bald das eine, bald das andere, bald beide schiffbar sind, was aus

der Betonnung sich ergibt. So ist 1880 nur die Mittel Eider betonnt, 1891 diese und die Alte Süder Eider, die sich dann an der Mündung vereinigen, 1901 und 1910 nur die Alte Süder Eider. Die Richtung dieser Verlegung des Fahrwassers nach Süden läßt also eine Bankwanderung nach dieser Himmelsrichtung erkennen. So haben sich von 1880 bis 1891 Sandmassen von Norden her in die Mittel Eider geschoben, gleichzeitig die Wester Plate vergrößernd und nach Süden verlegend, so daß dieser Arm, der Bedrängnis weichend, 1891 sich südlich der Großen Fliegen Plate, die 1880 noch südlich von ihm lag, eine neue Gasse schuf. Auch ist er 1891 schon in enge Beziehungen zur nunmehr betonnten Alten Süder Eider getreten, eine Annäherung, die 1901 dahin führte, daß er seine Selbständigkeit einbüßte und von dem südlichen Arm aufgesogen wurde. Denn er ist durch die immer mächtiger gewordene Kleine Fliegen Plate, die sogar in Verbindung mit der Großen Fliegen Plate und der Wester Plate getreten ist, gezwungen worden, auch seinen Oberlauf südlich der Kleinen Fliegen Plate zu verlegen, so daß 1901 und 1910 nur eine einzige fahrbare, durch die beiden Fliegen Platen und die Wester Plate nach Süden verdrängte Rinne, die Alte Süder Eider, existiert. Doch da diese einen fast rechtwinkligen Bogen um die Dithmarschener Gründe herum machen muß, und da ihr zwischen diesen und der Kleinen Fliegen Plate ein immer mehr sich verengendes Bett gelassen wird, so kann es nicht ausbleiben, daß diesem Zustand schließlich ein Ende gemacht wird. So schiebt sich von 1891 ab der rechtwinklige Bogen immer weiter nach Westen und drängt die Kleine Fliegen Plate vor sich her, eine Erscheinung, die ich auf die Stoßkraft der Eider zurückführen möchte, die über ein großes Wattengebiet verfügt und sich unter dem Schutze der nördlich gelegenen Halbinsel frei entwickeln kann. Der Unterlauf legt sich dahingegen fast ständig (1910 jedoch nicht) nach Süden, da hier die südlich gerichtete Sanddrift wirkungsvoller sich betätigen kann. Doch da beide Erscheinungen keine Abhilfe herbeiführen, scheint die Eider 1910 einen tiefen Priel auf etwa 54° 15′ von Osten her nach Westen vorzuschieben, der als das alte Wurzelglied des 1880 alleinigen, 1891 auch noch intakten, 1901 verschwundenen Fahrwassers der Mittel Eider anzusehen ist. Er hat die Kleine Fliegen Plate im Norden stark benagt, die Verbindungsbrücke zwischen der Wester Plate und der Großen Fliegen Plate durchbrochen und ist schon bis fast 8° 35′ nach Westen vorgerückt, so daß sich dasselbe Bild von 1880 vorbereitet. Die Wanderungsperiode scheint mithin rund dreißig Jahre zu umfassen. — Es ergibt sich also daraus, daß die Eider periodenweise nach Norden zurückspringt.

6. **Dove fief Faden.** Der äußere Teil des Mündungsmundes des Dove fief Faden wird zeitweise von Norden — 1880 bis 1891 —, zeitweise von Süden her — 1901 —, zeitweise von beiden Seiten — 1910 — eingeengt. Dabei erkennt man deutlich eine ständige, langsame Verlegung des Bettes im Oberlauf nach Süden, was offenbar durch die Vergrößerung und das Vordringen des Isern Hinnerk, der Speisung von den Eider-Sänden erhalten dürfte, nach Süden veranlaßt wird. Der den Dove fief Faden von der Norder Piep trennende Blauort Sand ist am obern Ende bis auf einen schmalen Streifen durchgenagt. Ob diese Durchnagung sich vollziehen und der Dove fief Faden sich im Laufe der Zeit mit der Norder Piep vereinigen wird, oder ob sich zwischen dem zweiteiligen Isern Hinnerk oder nördlich von ihm eine neue Gasse auftun wird, kann erst die Folgezeit lehren. Es liegt ja in der Wanderung der Sände begründet, daß, falls das Gatt seine Existenz behaupten soll, schließlich ein Überspringen nach Norden stattfinden muß, wobei dem Wesselburer Loch eine gewisse Rolle zufallen dürfte; eine wirkungsvolle langsame Zurücknagung nach Norden ist meines Erachtens eben gänzlich ausgeschlossen, da dem Gatt ein größeres Prielensystem fehlt. — Es liegt also auch bei diesem Gatt wenigstens bezüglich des Oberlaufes der wohlbegründete Verdacht eines Zurückspringens nach Norden vor.

7. **Norder Piep.** Der Mündungsmund der Norder Piep wird durch die im Norden sich mehrenden Bankmassen von 1891 ab ständig nach Süden verlegt, am stärksten zwischen 1901 und 1910, was mit der ungewöhnlich starken

Vermehrung der Bankmassen nördlich von ihr und ihrer Barre in Zusammenhang steht, wodurch 1910 das tiefere, von der 6 m-Isobathe begrenzte Fahrwasser, das von 1880 bis 1891 nach Westen zu vordrang, ziemlich beträchtlich nach Osten zurückgewichen ist. Da diese Verlegung zwanzig Jahre hindurch dieselbe bleibt, so möchte ich auch hinsichtlich dieses Gatts mit dem Verdacht eines Umspringens nach Norden nicht zurückhalten, wenngleich auch die nordseits das Gatt flankierenden, massigen und den Eindruck einer gewissen Stetigkeit machenden Sände diese Auffassung erschüttern könnten. Es liegt die Möglichkeit nicht fern, daß der Durchbruch an der schmalen Stelle der westwärts sich erstreckenden Bankzunge des Blauort Sandes erfolgen dürfte, wodurch der Dove tief Faden entweder von ihm aufgesogen oder, was mehr für sich hat, durch Aushobelung des Wesselburer Lochs zu einem Gatt seine Selbständigkeit behaupten wird (S. 53).

Je weiter man südlich der Eider nach der Norder Piep kommt, desto mehr gewinnt man den Eindruck einer langsam zunehmenden Mäßigung im Tempo der Sändeverlegung nach Süden. Die Norder Piep scheint etwa die Grenzlinie zwischen beiden Driften zu sein; denn bei dem zwischen ihr und

8. der **Süder Piep** belegenen Bankkomplex macht sich zwischen 1901 und 1910 eine nördliche Verlegung neben gleichzeitiger Verschmälerung bemerkbar. Ebenso legt sich die Bank zwischen der Süder Piep und dem Falschen Tief nach Norden und drückt erstere vor sich her. Im allgemeinen zeigt sich jedoch ein gewisses Schwanken, eine Unstätigkeit in der Lage und Breite der Bänke. Auch die Wurzelglieder der Bänke sind einer starken, regellosen Veränderung unterworfen, wobei das Russen Loch, das die Norder und Süder Piep verbindet, und der Flackstrom eine wichtige Rolle spielen. Eine auffällige Verlegung der Süder Piep ist zwar nicht zu konstatieren, doch verrät der flache südliche Anstieg der Bänke, daß die von Süden her wirkende Kraft die überlegene ist. Letzteres gewahrt man auch an der Bank, die vom Tertius in das Gatt hinein sich erstreckt: 1880, 1891 und 1901 ist die Längsachse nach Westsüdwesten gerichtet, 1910 jedoch in ost-westlicher Richtung herumgedrückt. Charakteristischerweise ist die Süder Piep barrenfrei. — Ob sich nun für die Süder Piep eine sprunghafte Verlegung nach Süden einstellen wird, darüber wage ich keine Vermutung zu äußern.

9. Das **Falsche Tief.** Auch dieses zeigt die Tendenz einer nördlichen Wanderung durch die Verlegung der flankierenden Sände, deren Südhänge flach sind, nach Norden. Zu entscheiden ist es auch hier zur Zeit nicht, ob das Gatt nach Süden zurückspringt oder durch ein Zurückweichen der Bankzungen langsam zurückwandert. Man muß sich eben bei den 3 letzten Gatten stets daran erinnern, daß man sich in der neutralen Zone befindet, ein Umstand, der eine sichere Vorherbestimmung des Werdeprozesses infolge des Überwiegens der einen oder der andern Kraft, hervorgerufen durch unberechenbare Einflüsse, nicht ermöglicht, so daß man hier auf Überraschungen gefaßt sein muß. —

Stellen wir die Ergebnisse unserer Untersuchung zusammen, wie es in der Tabelle auf S. 55 geschehen ist, so ergibt sich, daß bei 4 von den 12 Gatten — zwei, die Süder Piep und das Falsche Tief, scheiden nämlich, weil zur Süddrift gehörig, von vornherein aus; ebenso ist das unter anormalen Gezeitenverhältnissen stehende Lister Tief nicht mitzurechnen — eine sprungweise Verlegung nach Norden bestimmt nachgewiesen worden ist und daß 8 einer solchen dringend verdächtig sind, da der ständigen, durch einen Zeitraum von teils 20, teils 30 Jahren sich hinziehenden Verlegung nach Süden doch endlich ein Ziel gesetzt ist und eine Zurücknagung außerhalb der Grenzen der Möglichkeit liegt. Analog diesen Feststellungen liegt bei dem Lister Tief der Verdacht eines Zurückspringens nach Süden, also auch dem Flutstrom entgegen, vor.

Langsame Verlegung nach N	Langsame Verlegung nach S	Sprungweise Verlegung nach N	Sprungweise Verlegung nach S	Sprungweise Verlegung nach N verdächtig	Sprungweise Verlegung nach S verdächtig
Lister Tief					Lister Tief
	Vortrapp Tief				
	Ruter Gatt			Ruter Gatt	
	Schmal Tief			Schmal Tief	
	Altes Schmal Tief			Altes Schmal Tief	
	Alte Hever			Alte Hever	
	Mittel Hever			Mittel Hever	
	Süder Hever			Süder Hever	
		Norder Eider			
		Mittel Eider			
		Alte Süder Eider			
	Dove tief Faden			Dove tief Faden	
	Norder Piep			Norder Piep	
Süder Piep					
Falsches Tief					

Kurz: das Gesamtresultat unserer Erörterungen bezüglich der Sandbankwanderung ist also, daß dieselbe für das Gebiet zwischen der Elbemündung und der Norder Piep eine nördliche, für die Strecke von Sylt bis hierhin eine südliche Richtung hat. — —

Als natürliche Folge dieser Drifterscheinungen müssen sich auf der Grenzscheide gewaltige Sandanhäufungen bemerkbar machen. Nirgends bauen sich, wie die Seekarte lehrt, die Sandbänke in so typischer Weise so weit ins Meer hinein vor als hier; nirgends sonst hört man soviel Klagen über gewaltige Versandungen; kaum anderswo, vielleicht die NW-Spitze Jütlands ausgenommen, tauchen in so kurzer Zeit so beträchtliche Sande auf.[1])

Der Dieksand, der, seit dem 16. Jahrhundert entstanden (1818 erstes Stück eingedeicht), nach Geerz schon 1643 eine nicht unbedeutende Insel bildete, ist infolge der 1854 vollzogenen Eindeichung des 2000 ha großen König Friedrichskooges landfest geworden. — Als das eklatanteste Beispiel der Meeresanschwemmungen kann die Insel Trischen, 11 km von der Westspitze des Friedrich-Kooges entfernt,[2]) **gelten. Über sie haben wir eine genaue Beschreibung aus der Feder des Domänenrats L. Möllenhoff, der sie 1895 zuerst beschrieben und kartographiert hat.**[3]) **Die Untersuchungen desselben ergaben, daß das Watt bis zu 20 m Tiefe aus feinem Glimmersand besteht, fast ohne jegliche andere Beimischung, wie Schlick usw., ein Beweis, daß der Trischen-Sand sich unter recht unruhigen Verhältnissen gebildet hat. Die erste, auf kaum 1 qm großen Inselchen sich ansiedelnde Strandvegetation zeigte sich nach Mitteilungen von Schiffern 1854. Seit der Zeit ist eine außerordentlich starke Zunahme der Strandflora zu konstatieren, wie folgende Tabelle zeigt:**

Jahr	Fläche	
	mit Nutzgräsern	mit Queller
1872	16.64 ha	31.00 ha
1884	66.00 »	92.00 »
1894	103.00 »	129.00 »

Menschlicherseits ist allerdings durch das bei der Landgewinnung übliche Grüppensystem der Natur fleißig mitgeholfen worden (von 1868 bis 1886 hatte man für diese Arbeiten 11 000 Mark ausgegeben). Wenn schon das plötzliche

[1]) Vgl. E. Traeger, Die Halligen der Nordsee, 1892, und Die Rettung der Halligen, 1900.
[2]) Petermanns Mitteilungen 1891, S. 105.
[3]) E. Traeger, Die Rettung der Halligen, 1900.

Erscheinen der gleichsam durch Zauberhand geschaffenen grünen Insel das größte Erstaunen hervorrief, so noch mehr die am Westrand der Insel durch starken Sandflug auftauchende Düne, deren größte Höhe am 16. August 1894 4.90 m betrug (jetzt 5.6 m über gewöhnlichem Hochwasser).[1]) Die Stürme von 1894 und 1895 haben dann die höchste Höhe von 4.90 m auf 4.72 m über Cuxhavener ordinärer Flut herabgedrückt. Die durch Anpflanzung von Sandhafer, Strandweizen und Sandriedgras begünstigte gewaltige Höhenzunahme von 1.43 m auf 4.90 m, also um 3.47 m, in der kurzen Zeit von acht Jahren (1886 bis 1894) läßt einen Schluß zu auf die Menge des an den Strand gespülten Sandes. Haben doch die Stürme vom 23. und 29. Dezember 1894 und am 24. März 1895 neben gleichzeitiger Veränderung des Wattsockels so gewaltige Sandmassen zugeführt, daß der darauf einsetzende Sandflug die in Kultur befindlichen Weideländereien überschüttete, so daß der Pächter beim Fiskus um vorzeitige Entlassung aus dem Pachtverhältnis bat[2]). — Vor dem Trischen hat sich ein gewaltiger Sandbankkomplex, der Busch-Sand, aufgetürmt.

So wie hier, so steht die ganze Küstenstrecke unter dem Zeichen starker Versandung. So meint Traeger[3]) beispielsweise, daß die Halbinsel Eiderstedt nahe am Ende ihrer Ausdehnungsmöglichkeit nach Westen zu angelangt sei, wogegen die südlicheren Marschen ihre Grenzen noch bis zu der Linie Eiderstedt (St. Peter)—Blauort—Trischen vorzuschieben vermöchten, wenn ihnen der Mensch behilflich sei, einer Grenzlinie, deren Überschreitung nach Westen auf Jahrhunderte hinaus nicht ratsam erscheine, da jenseits derselben die durch schwere Stürme emporgewirbelten Sandmassen für mehr als absehbare Zeit die Herrschaft behaupten würden. Denn während der leichtere Detritus vielleicht in ruhigerer Bucht auf höher gelegenem Wattgebiet mit menschlicher Hilfe zur Seßhaftigkeit gezwungen wird, türmt die See den schwereren Detritus, den Sand, zu Außensänden, zu Sandbänken auf, und zwar manchmal zu solcher Höhe, daß der Wind die obere Lage auf den Tanz bringt und sie nach Osten hin auf fruchtbare Wattgebiete niederschlägt, weshalb diese zur Eindeichung wenig begehrenswert erscheinen, ja, ansehnliche Flächen seien, wie Traeger[4]) schreibt, schon jetzt für immer künftiger Ackerwirtschaft entzogen. — —

Das Endergebnis unserer Untersuchungen ist also folgendes:

An der Südküste vollzieht sich die Sandbankwanderung in östlicher Richtung durch die Elbe hindurch, an der Ostküste nach Süden. Die Umgegend der Norder und Süder Piep ist die Grenzzone beider Sanddrifte. Jedoch machen alle jene Sände und Inseln, so gewaltigen Umfang sie auch annehmen mögen, dennoch nur einen verschwindend geringen Bruchteil all der Massen aus, die hier im Laufe von Jahrtausenden von zwei entgegengesetzten Seiten zusammengefrachtet worden sind. Wo ist der Rest geblieben? Die Seekarten zeigen zwischen Helgoland und diesen Küstengebieten weder eine allgemeine Erhöhung des Meeresgrundes noch größere Sandbankkomplexe. Es kann da nur die eine Erklärung geben, daß der Überschuß von der Ebbeströmung ins Meer zurückgeführt wird. Ob die Flut die Massen wieder zurücktransportiert, zu welcher Küste, ob auf direktem Wege oder auf Umwegen, ob die an der N- und NW-Küste Jütlands sich zeigenden Dünenbildungen hiermit in kausaler Beziehung stehen, darüber liegen meines Wissens noch keinerlei Untersuchungsergebnisse vor, die eine Diagnose nach irgendeiner Richtung hin zulassen[5]). —

[1]) Segelhandbuch 1906.

[2]) Gustav Frenssen schildert in »den drei Getreuen« eine Insel Flakkeholm, wobei ihm Trischen vorgeschwebt haben soll; er verlebte hier nämlich einige Wochen bei seinem Bruder Theodor, der Pächter der Insel war. (Petermanns Mitteilungen 1905, S. 73.)

[3]) E. D. Traeger, Die Rettung der Halligen, 1900, S. 39.

[4]) E. D. Traeger, Die Halligen der Nordsee. In »Forschungen der dtsch. Landes- und Volkskunde« von A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 304.

[5]) Vgl. O. Krümmel, Die Deutschen Meere. Veröfftl. d. Inst. f. Meeresk., Heft 6, 1904.

Die Frage der säkularen Senkung.

Noch einen in letzter Zeit eifrig ventilierten Punkt, der unsere Untersuchung stark berührt, fühlen wir uns kurz zu streifen veranlaßt: die säkulare Senkung. Obgleich diese Streitfrage schon seit mehr als 150 Jahren unter den Fachgelehrten den Gegenstand eingehendster Erörterungen abgegeben hat, so ist die Angelegenheit auch heute noch keineswegs entschieden[1]).

Daß an unserer Küste in prähistorischer Zeit eine Senkung, die sich noch in die historische Zeit hinein bemerkbar macht, sich vollzogen hat, wovon die submarinen Moore, Wälder, Hünengräber, prähistorische Funde usw. untrügliche Beweise sind, ist über allen Zweifel erhaben; allein ob eine solche auch in neuester Zeit stattgefunden hat, darüber ist man geteilter Meinung. Manche Beobachtungen scheinen als Beweise für eine Senkung gedeutet werden zu können, manche ihr zu widersprechen. Es steht aber zu erwarten, daß die Forschungsergebnisse in nicht zu ferner Zeit sich zu einer klaren Diagnose verdichten lassen. —

Welche Bedeutung mag nun eine Senkung oder Hebung oder ein Stillstand für die Sandbänke und Fahrwasser haben? — Die Erfahrung lehrt, daß im allgemeinen die Senkung eine Besserung des Fahrwassers zur Folge hat, die Hebung eine Erschwerung. Das trifft in erster Linie für die Felsküsten zu; auf die sandigen Flachküsten, wie die unsrige, dürfte der Einfluß kein allzu großer sein, da den Meeresagentien wegen der Langsamkeit, mit der sich diese Vorgänge zu vollziehen pflegen, Zeit gegeben ist, die Konfiguration des Bodens ganz ihrer Eigenart entsprechend gestalten zu können d. h. die Sandbänke zu der entsprechenden Höhe aufzubauen bzw. zu erniedrigen; denn, wie wir beobachteten, halten sich die Sandbänke fast ausnahmslos etwas unter dem Hochwasserniveau. Eine plötzliche Hebung oder Senkung würde deshalb nur vorübergehend eine Änderung herbeiführen. Bleibt jedoch die Höhenlage des Küstengeländes dieselbe, so steht zu erwarten, daß auch bezüglich der Sandbänke der status quo seine Existenz verteidigen wird. — —

Lassen wir zum Schluß das Gesamtbild an unserem Auge vorüberziehen, so sticht besonders ein charakteristischer Zug hervor: die große Flüchtigkeit und Wandelbarkeit der Gebilde unserer Küstenzone, so daß man die Seekarten dieser Gebiete nur als Augenblicksbilder betrachten darf.

[1]) Zur Lösung dieses Problems bezüglich unserer Küsten haben unter andern Beiträge geliefert: 1. Forchhammer, Zeitschrift für Erdkunde, Bd. I, S. 473. — 2. F. Hahn, Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten, 1879. — 3. R. Haage, Die Deutsche Nordseeküste. Diss. Leipzig 1899. — 4. E. Sueß, Antlitz der Erde, S. 599ff. — 5. W. Wolff, Entstehung der Insel Sylt, 1909. — 6. Fr. Solger, Die Deutschen Seeküsten. Veröfftl. d. Inst. f. Meeresk., 1907. — 7. Wattuntersuchungen der Jade seitens der Werft in Wilhelmshaven. — 8. E. Traeger, Die Halligen der Nordsee, 1892. — 9. A. Penck, Das Deutsche Reich, Wien 1887. — 10. Fr. Arends, Physische Geschichte der Nordseeküste, Emden 1833. — 11. Jahrbuch für die Geschichte Oldenburgs. 1908. Heft 9. 10.

Literaturverzeichnis.

1. Deutsche Admiralitätskarten der Nordsee. Herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt.
2. Arends, Fr. Physische Geschichte der Nordseeküste. Emden 1854.
3. Atlas der Gezeiten und Gezeitenströme für das Gebiet der Nordsee. Herausgegeben von der Deutschen Seewarte in Hamburg 1902.
4. Behrmann, W., Niederdeutsche Seebücher usw. »Jahrbuch des Oldenburger Vereins für Altertumskunde und Landesgeschichte«, Band 16. Oldenburg 1909.
5. Beitrag zur Theorie der Wasserbewegung in Strömen auf Grund von Strombeobachtungen in verschiedenen Wasserstufen ausgeführt auf der Forschungsstation Genius Bank in der Jade zwischen 1. Oktober und 16. Dezember 1878. »Ann. d. Hydr. usw.«, 7. Jahrgang, 1879.
6. Beyer, A., Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste. Dissertation. Erlangen 1901.
7. Bodenuntersuchungen in der Jade in den Jahren 1907 und 1908. Vorwort, allgemeiner Bericht usw. Herausgegeben von der Kaiserlichen Werft in Wilhelmshaven.
8. Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S. M. Kanonenboot »Drache« in der Nordsee in den Sommern 1881, 1882 und 1884. Berlin 1886.
9. Forchhammer, G., Über die veränderte Wasserhöhe an den dänischen Küsten. »Zeitschrift für allgemeine Erdkunde.« Neue Folge, 1. Band. Berlin 1856.
10. Grosse, W., Die Entwicklung des Küstenbegriffs. Dissertation. Leipzig 1904.
11. Haage, R., Die deutsche Nordseeküste usw. Dissertation. Leipzig 1899.
12. Haas, H. J., Vorwiegende Lateritbildung in Skandinavien und ihre Beziehungen zum Tertiär und Diluvium Norddeutschlands. »Das Ausland«, 66. Jahrgang. Stuttgart 1893.
13. Hagen, G., Handbuch der Wasserbaukunst. Berlin 1863.
14. Hahn, F., Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten. Leipzig 1879.
15. Hansen, C. P., Die nordfriesische Insel Sylt, wie sie war und wie sie ist. Leipzig 1859.
16. Hansen, R., Küstenänderungen im südwestlichen Schleswig. »Petermanns Mitt.«, 39. Band, 1893.
17. Derselbe, Die Besiedelung der Marsch zwischen der Elbe- und Eidermündung. Ebenda, 37. Band, 1891.
18. Derselbe, Küstenänderungen in Süderditmarschen im 19. Jahrhundert. Ebenda, 51. Band, 1905.
19. Jensen, Chr., Die Nordfriesischen Inseln Sylt, Föhr, Amrum und die Halligen vormals und jetzt. Hamburg 1891.
20. Kretzschmer, K., Die physische Entwicklung der Nordseeküste in historischer Zeit. »Verhandlg. der Gesellschaft für Erdkunde«, Berlin 1901.
21. Krümmel, O., »Handbuch der Ozeanographie«, Band 1, 2. Auflage. Stuttgart 1907.
22. Derselbe, Ebenda, Band 2, 2. Auflage. Stuttgart 1911.
23. Derselbe, Die geographische Entwicklung der Nordsee. »Globus«, Band 65, 1894.
24. Derselbe, Die deutschen Meere im Rahmen der internationalen Meeresforschung. Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde«, Heft 6, 1904.
25. Derselbe, Über Erosion durch Gezeitenströme. »Petermanns Mitt.«, 35. Band, 1889.
26. Martin, J., Über den Einfluß der Eiszeit auf die Entstehung der Bodenarten und des Reliefs unserer Heimat. Bremen 1898.
27. Derselbe, Diluvialstudien I und II. Osnabruck und Bremen 1893 bis 1896.
28. Derselbe, Die säkulare Senkung. Jahrbuch des Oldenburger Vereins für Altertumskunde und Landesgeschichte«, Band 16. Oldenburg 1909.
29. Prestel, Boden und Klima in Ostfriesland. Emden 1870.
30. Schucht, F., Beitrag zur Geologie der Wesermarschen. »Zeitschrift für Naturwissenschaften.« Stuttgart 1903.
31. Schütte, H., Neuzeitliche Senkungserscheinungen an unserer Nordseeküste. »Jahrbuch des Oldenburger Vereins für Altertumskunde und Landesgeschichte«, Band 15 und 16. Oldenburg 1908 und 1909.
32. Segelhandbücher für die Nordsee. Herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt. Berlin 1903 bis 1909.
33. Sello, G., Der Jadebusen. Varel 1903.
34. Sokolow, N., Die Dünen, Bildung, Entwicklung und innerer Bau. Berlin 1894.
35. Solger, Fr., Die deutschen Seeküsten in ihrem Werden und Vergehen. »Meereskunde, Sammlung volkstümlicher Vorträge usw.«, 1. Jahrgang, 8. Heft. Berlin 1907.
36. Sueß, Ed., Das Antlitz der Erde, 2. Band. Prag, Wien, Leipzig 1888.
37. Supan, A., Grundzüge der physischen Erdkunde, 5. Auflage. Leipzig 1911.
38. Traeger, E., Die Rettung der Halligen. Stuttgart 1900.
39. Derselbe, Die Halligen der Nordsee. »Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde«, 6. Band. Stuttgart 1892.
40. Wagner, H., Lehrbuch der Geographie, 8. Auflage. Hannover und Leipzig 1908.
41. Wahnschaffe, F., Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde«, 6. Band. Stuttgart 1892.
42. Walther, P., Land und See. Halle 1907.
43. Wolff, W., Entstehung der Insel Sylt. Halle 1910.
44. Zahn v., G., Die zerstörende Arbeit des Meeres an Steilküsten, nach Beobachtungen in der Bretagne und Normandie in den Jahren 1907 und 1908. »Mitteilg. der Geogr. Gesellschaft.« Hamburg 1909.
45. »Zeitschrift für Bauwesen.« Berlin 1860.

Vita.

Als Sohn des früheren Schiffskapitäns Arend B. Poppen in Jheringsfehn im Kreise Aurich am 10. August 1866 geboren, besuchte ich zunächst die Schule meines Heimatsortes. Von 1882 bis 1888 war ich Schüler der Lehrerbildungsanstalten in Aurich, die ich Ostern 1888 nach bestandener 1. Lehrerprüfung verließ. 1890 legte ich die 2. Prüfung ab. Nachdem ich zunächst Anstellung an zwei Landschulen gefunden hatte, wurde ich zum 1. November 1901 an die städtischen Schulen in Wilhelmshaven berufen. Ostern 1908 nahm ich meine Entlassung aus dem Schuldienst, um an der Universität Jena Philologie zu studieren. Das Reifezeugnis erwarb ich mir als Extraneus am humanistischen Gymnasium des Kgl. Andreanums in Hildesheim.

Während meiner Studien besuchte ich die Vorlesungen bzw. Seminare der Herren Professoren:

Diehl, Euken, Judeich, Leitzmann, Lietzmann, Mentz, Michels, Rosenthal, Schlösser, Schrader, Schultze, Staerk, Stoy, Strohmeyer, Thümmel, Ungnad, Weinel, Wendt, Wilhelm, Wilkens, von Zahn.

Allen meinen hochverehrten Lehrern spreche ich an dieser Stelle meinen ergebensten Dank aus, insbesondere Herrn Prof. Dr. L. Schultze, sowie Herrn Prof. Dr. G. W. von Zahn, dem ich die Anregung zu meiner Dissertation verdanke.

19/10/53 WO.

566819

G Poppen, Harm
P Die Sandbänke an der Küste der Deutschen
Bucht der Nordsee.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
LOWE-MARTIN CO. LIMITED

UTL AT DOWNSVIEW
D RANGE BAY SHLF POS ITEM C
39 13 19 18 10 019 7